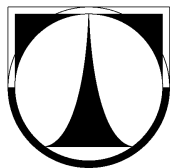


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**



Studijní program: B2341 Strojírenství

Obor: 3911 R 018 Materiály a technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

**Studium problematiky zalitých vložek bloku válců  
motoru Škoda 1.2 HTP**

**Study of problematic filled cylinder barrels in cylinder  
block of Skoda 1.2 HTP engine**

Petr Jícha

**KMT - B - 135**

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. František Stuchlík, Csc. - TU v Liberci

Konzultant bakalářské práce: Ing. Milan Adamec - ŠKODA AUTO a.s.

**Rozsah práce a příloh:**

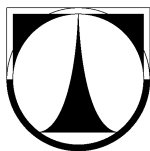
Počet stran: 63

Počet obrázků: 91

Počet tabulek: 7

Počet příloh: 3 + přiložené CD

LIBEREC 2008



## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Jméno a příjmení	<b>Petr J í c h a</b>
studijní program	<b>B2341 Strojírenství</b>
obor	<b>3911 R 018 Materiály a technologie</b>
zaměření	<b>Materiálové inženýrství</b>

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

### **Studium problematiky zalitých vložek bloku válců motoru Škoda 1.2 HTP**

#### **Zásady pro vypracování:**

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

- 1) Seznamte se s problematikou nedokonalého spojení materiálu vložky a hliníkové slitiny
- 2) Prostudujte a navrhňte možnosti zlepšení spojení těchto kovových materiálů
- 3) Navrhňte metodiku zkoušení soudržnosti zalitých vzorků s různými úpravami povrchů a laboratorně ověřte.
- 4) Laboratorně ověřenou optimální úpravu povrchu aplikujte na zalitých vložkách bloku válců motoru Škoda . Zvlášť vyhodnoťte přechodovou vrstvu mezi litinou a Al slitinou.
- 5) Vyhodnoťte získané poznatky z hlediska realizace po technické , provozní a ekonomické stránce.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 25 - 40 stran

- přílohy

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

- [1] PTÁČEK, L. a kol.: Nauka o materiálu II, CERM 2002
- [2] SEDLÁČEK, V.: Neželezné kovy a slitiny. SNTL Praha 1979
- [3] PLUHAŘ, J. a kol.: Nauka o materiálech. SNTL Praha 1989
- [4] VALECKÝ, J.: Lití kovů pod tlakem. SNTL Praha 1964

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. František Stuchlík, CSc.

Konzultant bakalářské práce :

Ing. Milan Adamec – ŠKODA AUTO a.s.

L.S.

doc. Ing. František STUHLÍK, CSc.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.  
děkan

V Liberci dne 31.03. 2007

---

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta strojní**

Katedra materiálů

## ANOTACE

Jméno a příjmení: Petr JÍCHA  
Téma práce: Studium problematiky zalitých vložek bloku válců motoru Škoda 1.2 HTP  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Obor: 3911 R 018 Materiály a technologie  
Zaměření: Materiálové inženýrství  
Číslo BP: KMT - B - 135  
Vedoucí práce: doc. Ing. František Stuchlík, Csc.  
Konzultant BP: Ing. Milan Adamec

Bakalářská práce zkoumá povrchové úpravy vložek válců a vliv těchto úprav na soudržnost vložek válců a bloku motoru. Jako povrchových úprav bylo použito chemické mědění, fosfátování, odmaštění a mechanická úprava vnějšího povrchu vložek válců. Jako referenční vzorek sloužily sériové vložky .

Klíčová slova: litina  
vložka válců  
povrchové úpravy  
difúze  
slitina hliníku



# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta strojní**

Katedra materiálů

## ANNOTATION

First and last name: Petr JÍCHA  
Theme of thesis: Study of problematic filled cylinder barrels in cylinder block of Skoda 1.2 HTP engine  
Study program: B2341 Engineering  
Specialization: 3911 R 018 Materials and technology  
Tack: Material engineering  
Number of thesis: KMT - B - 135  
Leader of thesis: doc. Ing. František Stuchlík, Csc.  
Consulter of thesis: Ing. Milan Adamec

Bachelor's thesis examines surface modifications of cylinder's fill and influence of these modifications to cohesion between cylinder's fill and engine block. Methods such as chemical coppering, phosphateing, degreasing and machining were used for modifications of cylinder's fill outer surface. Serial cylinder's were used like reference representative.

Key words: cast iron  
cylinder sleeve  
surface modification  
diffusion  
aluminium alloy

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl vyjádřit poděkování panu doc. Ing. Františkovi Stuchlíkovi, Csc. a panu Ing. Milanovi Adamcovi za odborné vedení, cenné připomínky a poskytování materiálových podkladů k BP. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Richardovi Regazzo, CSc. za poskytnutí možnosti provést část experimentu v jeho firmě R&R NDT. Poděkování patří také všem dalším, kteří mi byli jakkoli nápomocni při řešení mé BP a v neposlední řadě také mým rodičům, za podporu při studiu.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedených pramenů a literatury.

V Liberci dne 3.1.2008

Podpis.....

Petr Jícha  
Gellnerova 255/4  
293 01 Mladá Boleslav

## OBSAH

<b>1 Úvod</b>	9
<b>2 Teoretická část - úvod do problematiky</b>	10
2.1 Spalovací motor Škoda 1.2 HTP	10
2.2 Výroba vložky válců a bloku motoru	10
2.2.1 Výroba vložky válců	10
2.2.1.1 Slévárna litin	10
2.2.1.2 Postup výroby vložky válců	11
2.2.2 Slévárna slitin hliníku	12
2.2.2.1 Odlévání bloku motoru se zalitými vložkami válců	12
2.3 Problematika zalévání vložek válců	14
2.3.1 Dříve odzkoušené metody úpravy povrchu vložek válců	15
2.3.1.1 Hybridní vložky	15
<b>3 Teoretická část - charakteristiky materiálů, procesů a zkoušek</b>	18
3.1 Chemicko - technologické vlastnosti prvků a slitin	18
3.1.1 Grafitická litina s lupínkovým grafitem	18
3.1.2 Hliník a jeho slitiny	21
3.1.3 Zinek	22
3.1.4 Měď a její slitiny	23
3.1.5 Nikl	24
3.2 Teoretické aspekty chemických vazeb v kovech	24
3.2.1 Chemická vazba	24
3.2.2 Difúzní procesy	27
3.2.2.1 Mechanismy difúze	28
3.2.3 Soudržnost (Adheze)	30
3.3 Charakteristika UZ měřících metod a postup metalografie	31
3.3.1 UZ měřící metody	31
3.3.2 Příprava metalografického vzorku	32
<b>4 Experimentální část</b>	33
4.1 Stanovení cíle práce	33
4.2 Experiment provedený na litinových vzorcích	34
4.2.1 Příprava vzorků a forem	34
4.2.2 Povrchové úpravy opracovaných ploch vzorků	35
4.2.3 Zalití vzorků	38
4.2.4 Zkouška tlakem a výsledky metalografie	39
4.3 Experiment na litinových vložkách zalitých v sériových blocích	41
4.3.1 Příprava vložek	41
4.3.2 Hledání optimální ultrazvukové metody pro hodnocení	44
4.3.3 Vyhodnocení spoje pomocí ultrazvukové metody	45
4.3.3.1 Vyhodnocení spoje pomocí UZ metody s kontaktní vazbou	45
4.3.3.2 Vyhodnocení spoje pomocí UZ imerzní metody	50
<b>5 Závěr</b>	59
5.1 Vyhodnocení výsledků experimentů	59
5.2 Doporučení	60
<b>6 Seznam použité literatury:</b>	62
<b>7 Seznam příloh</b>	63

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Al - Aluminium - hliník

AO - atomový orbital

C - Carboneum - uhlík

Cu - Cuprum - měď

Fe - Ferrum - železo

FeMn - feromangan

FeP - ferofosfor

FeSi - ferosilicium

GJL - litina s lupínkovým grafitem - dříve šedá litina

GJS - litina s kuličkovým grafitem - dříve tvárná litina

HB - tvrdost podle Brinella

HTP - High torque performance - vysoký točivý moment

Mn - Manganum - mangan

MO - molekulární orbital

NaCl - natrium chloratum - sůl kamenná

Ni - Niccolum - nikl

OHC - Over haed camshaft - ventilový rozvod

Ra - střední aritmetická drsnost

RANCO9885 - očkovadlo

Rm - mez pevnosti

S - Sulphur - síra

SiC - karbid křemíku

UZ - ultrazvuk

Zn - Zincum - zinek

## 1 Úvod

V současné době jsou kladeny na výrobu v automobilovém průmyslu vysoké požadavky na jakost, produktivitu práce, spolehlivost a kvalitu nabízených produktů s přihlédnutím na ekonomické hledisko a ekologičnost výroby. Podaří-li se tato kritéria dodržet, zvyšuje se tím konkurenceschopnost výrobce.

V moderních automobilkách výzkum neřeší jen oblast odstraňování chyb a nedostatků výrobních celků, ale i oblasti, kde jsou kontrolou a výzkumem odhaleny technologické nedostatky při výrobě. Jako příklad může sloužit téma mé bakalářské práce tj. nedokonalá adheze dvou kovů u zalitých litinových vložek válců do hliníkového bloku motoru Škoda 1.2 HTP. I přesto, že tento technologický problém markantním způsobem neovlivňuje výrobu a životnost motoru lze se domnívat, že jeho vyřešení, zlepší fyzikální parametry bloku motoru jako celku.

Teoretická část mé bakalářské práce se zabývá stručnou charakteristikou motoru Škoda 1.2 HTP (jehož blok používám při části experimentů), seznámení se s problematikou zalitých vložek válců, popisem fyzikálně - chemických vlastností kovů použitých při experimentu a jevy předpokládané v místě styku těchto kovů (difúze x adheze). Pro úplnost této části práce popisuji současný technologický postup výroby zalévání vložek válců do bloku motoru s poukázáním na nedostatky tohoto produktu ve smyslu spoje vložky válců a bloku motoru.

Experimentální část je rozdělena na dvě části, v první je řešena problematika spoje vložky válců a bloku motoru pomocí povrchově upravených vzorků z GJL (materiál vložky válců) a forem, v druhé části jsou nejvhodnější způsoby povrchových úprav aplikovány přímo na sériových vložkách válců. Hodnocení spojů v experimentální části je prováděno pomocí mechanických a ultrazvukových metod.

## 2 Teoretická část - úvod do problematiky

### 2.1 Spalovací motor Škoda 1.2 HTP



Motor Škoda 1.2 HTP/40kW je prvním představitelem zcela nové generace vyspělých pohonných jednotek vyvinutých a vyráběných firmou Škoda Auto pro automobily Škoda Fabia a další vozy koncernu Volkswagen. Zkratka HTP v označení motoru symbolizuje jednu z jeho největších předností a to vysoký točivý moment 106 Nm dosahovaný již při nízkých otáčkách, což se příznivě projevuje na pohodlí, pružnosti a plynulosti jízdy. [1]

Obr. 2.1 Motor Škoda 1.2 HTP

Motor je řadový, kapalinou chlazený zážehový tříválec se čtyřikrát uloženou klikovou hřídelí a jednou protiběžnou vyvažovací hřídelí. Motor se vyznačuje nízkou hlučností, plynulým a kultivovaným během s minimem vibrací. Blok i hlava válců jsou zhotoveny z hliníkové slitiny, což se společně s širokým využitím plastů a dalších moderních materiálů projevuje na nízké hmotnosti agregátu. Ventilový rozvod je OHC se dvěma nebo čtyřmi ventily pro každý válec. Zdvihový objem nového motoru je 1198 ccm. [1]

## 2.2 Výroba vložky válců a bloku motoru

### 2.2.1 Výroba vložky válců

#### 2.2.1.1 Slévárna litin

Ve slévárně litin Škoda Auto a.s. se vyrábějí polotovary (odlitky) brzdového bubnu, vložky válců, závěsného ramena; určené pro další mechanické opracování. Tavná je vybavena středofrekvenčními indukčními pecemi JUNKERS a BBC. Lící pec INDUCTOTHERM je automatická, předchází ji

bezrámová formovací linka LORAMATIC s vertikální dělicí rovinou. Formovací směs tvoří nový křemičitý písek 3% (ostřivo), vratný písek 96%, bentonit 1% (pojivo) a jako katalyzátor slouží voda. Vlhkost směsi je v rozmezí 3 - 4,2%. Směs je do formovacího zařízení dopravována dopravníkem ze zásobníku. Lisovací tlak je 80 barů. Odlitky jsou vyráběny technologií gravitačního lití železných slitin (litin) do netrvalých bezrámových forem. Materiál pro odlévání je grafitická litina s lupínkovým grafitem a grafitická litina s kuličkovým grafitem. Hmotnost vyráběných polotovarů v současnosti je v rozmezí od 1,5 do 6 kg na kus. [2]

### 2.2.1.2 Postup výroby vložky válců

Materiál vložky válců (GJL) označuje norma TL VW 001. Vsázku tvoří vratný materiál, surové železo, RANCO9885, SiC, FeP, FeMn, Cu. Natavení jedné pece trvá cca 50 minut, tavící teplota je v rozmezí 1420 - 1450°C. Následuje rozbor chemického složení v laboratoři z každé tavby. Nesouhlasí-li předepsané chemické složení je provedena úprava složení a vzorek se opět odešle do laboratoře. Je-li chemické složení v normě dochází k vylití litiny z pece. Poté následuje první očkování FeSi a přeprava tekutého kovu do licího linky a přidání separátoru strusky. Předepsané chemické složení pro vložku válce viz. tabulka 2.1. [2]

Tab. 2.1: Chemické složení GJL

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Ti
Předpis	2,8-3,3	0,6-0,8	1,8-2,5	0,5-0,8	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,8	0,03-0,1

Odlévání vložky je prováděno při teplotě cca 1370 - 1400°C do pískových netrvalých forem. Při odlévání se přidává očkovaadlo Inoculin 900 přímo do toku materiálu. Po odlití následuje chlazení na vzduchu, odstranění písku z odlitku na vytloukacím roštu. Písek se dochladí v chladničce, dobrý jde zpět do zásobníku. Z odlitku se mechanicky oddělí vtoková soustava. Následuje pískování



(otryskání) odlitku, čímž se odstraní zbytek formovací směsi z odlitku, tím je dokončena výroba polotovaru vložky válců (obr. 2.2). [2]

Nakonec jsou hrubováním opracována čela vložky na stroji JUS Brno, následuje kontrola, a poté expedice na obrobnu. V obrobně se opracovává vnitřní průměr na vyvrtávačce TOS Tuřim a vnější průměr vložky s délkovým zarovnáním, na kterém se zhotoví drážkování (závitový profil) na stroji EMAG. Obrobená vložka se kontroluje na kontrolním zařízení AMEST, které kontroluje výrobek z důvodu povrchových vad. Na obr. 2.3 je výsledný produkt vložky válců určený k zalití do bloku motoru. [2]



Obr. 2.2 Polotovar vložky válců



Obr. 2.3 Obrobená vložka válců

## 2.2.2 Slévárna slitin hliníku

Ve slévárně hliníku se vyrábějí součásti motoru a převodovky (blok motoru, skříň převodovky a spojky) pro vozidla Škoda, Seat a Volkswagen. Slévárna je vybavena pětitonovými plynovými šachtovými pecemi Striko 5000, ve kterých se vsázka 5 tun nataví přibližně za dvě hodiny. Lití se provádí na automatickém vysokotlakém licím stroji IDRA 2000. [2]

### 2.2.2.1 Odlévání bloku motoru se zalitými vložkami válců

Vsázku tvoří vratný materiál (50%) a hliníkové housky (50%). Teplota tavení hliníkové slitiny je 715 - 730°C. Před vylitím se provádí u každé tavby kontrola chemického složení v laboratoři. Po vylití z pece se provádí rafinace v rafinačním boxu, kde se do taveniny přidává rafinační sůl ve formě granulátu a měří se teplota tekutého kovu. Poté se převezve kov do licího stroje. Předepsané

chemické složení slitiny pro blok motoru, který je vyroben z materiálu AlSi9Cu3 (tab.2.2). [2]

**Tab. 2.2: Chemické složení Al slitiny**

Prvek	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn	Ni	Sn	Ti	Pb	Cr	Ostatní
Předpis	8,5- 10	2- 3,5	0,1- 0,5	0,1- 0,4	max 1	max 1,2	max 0,3	max 0,1	max 0,15	max 0,2	max 0,05	max 0,05

Pracovník založí obrobené vložky na pásový dopravník. Před odlitím se automaticky ošetří forma bezgrafitovým mazadlem, následuje založení vložek robotem na středící trny. Teplota formy je 200 - 300°C. Forma se uzavře, zásobník se naplní tekutým kovem o teplotě 680°C a pod vysokým tlakem (320 - 350 barů) dojde ke vstříknutí kovu do formy. Kov ve formě tuhne, přičemž dojde ještě k dotlačení tuhnoucího kovu, aby se eliminovaly možné vady odlitku. Po otevření formy robot vyjme odlitek, provede se kontrola celistvosti, zda ve formě nezůstala nějaká část z odlitku a následuje odlomení vtoku a ledvinek. Odlitek je dále mechanicky opracován, žíhán na odstranění vnitřního pnutí při teplotě 250°C. Žíhání se provádí po dobu třech hodin. Na odlitku je prováděno několik kontrol. RTG kontrola se provádí namátkovým výběrem 1x za směnu. Kontrola rozměrová, vizuální a tlaková kontrola těsnosti se provádí na každém výrobku. Konečnou fází výroby bloku válců je kontrola, začištění a paletizace (obr.2.4). [2]



**Obr. 2.4 Blok motoru**

## 2.3 Problematika zalévaných vložek válců

Bohužel není vypracována ucelená studie o problému zalitých vložek válců do bloku motoru, pouze je tato problematika diskutována z důvodu spotřeby oleje v provozu motoru a opotřebení pístních kroužků, dále pak z důvodu tepelné bilance (odvod tepla z vložky válců). Problém lze rozdělit na dvě části:

1) Problematika soudržnosti - tzn. jak vložka zalitá do hliníku drží ve své pozici. Je nutné aby nedocházelo k pohybu vložky vůči bloku motoru. V ose vložky je to bez problému, na vložce je závitová drážka a z obou stran je vložka čelně držena hliníkovou přírubou. V radiálním směru (stěna vložky a stěna bloku) bývá největší problém. V případě “odpružení” vložky do hliníkové stěny bloku může docházet při konečném obrábění k rozměrovým odchylkám tzn. že není dodržena kruhovitost vývrtu vložky. Dalším problémem je samotné honování, kde jsou nastaveny přítlaky honovacích kamenů pro zajištění předepsaného povrchu. V případě “pružení” je parametr potřebného přítlaku ovlivněn.

2) Problematika přilnavosti - tzn. jak velká je styková plocha mezi vložkou válců a hliníkovou stěnou bloku. Čím větší je tato plocha, tím lepší je přestup tepla z vložky do bloku a následně k chladicímu médiu.

Byla provedena nedestruktivní metoda testování přilnutí vložek k bloku motoru firmou Parametria CZ. Kontrola přilnutí vložek válců k bloku motoru byla provedena metodou ultrazvukovou. Metoda potvrdila na vzorcích nepřilnuté plochy. Byla vyžádána další zkouška, která nepřilnutí nepravidelných ploch od hrany čela do středu vložky potvrdila. [3]

### 2.3.1 Dříve odzkoušené metody úpravy povrchu vložek válců

Přehled provedených zkoušek:

1) Ověření vlivu předehřevu vložek před zalitím na cca 120°C.

Předehřev vložek válců před zalitím nijak neovlivnil výsledné spojení mezi vložkou a blokem. Spojení je srovnatelné se sérií (zbarvení povrchu po odtržení, vyjmutí po rozřezání bloku).

2) Ověření a vliv parametrů opracování povrchu vložek válců.

Byla provedena úprava řezných otáček, změna tvaru řezné destičky, úprava držáku řezné destičky a změna výrobce řezné destičky. Povrch závitu na vložce po obrobení vykazuje změnu tvaru a částečně drsnosti. Provedeno zalití vložky do bloku. Po rozřezání bloku obtížné vyjmutí vložek z bloku, vložky zabarveny srovnatelně ze sérií. Není možné použít v sérii z důvodu snížené kapacity stroje.

3) Ověření vlivu parametrů předopracování vložky na lince GROB.

Snížení posuvu na vývrtech o 30% a 50%. Po zalití a rozřezání bloku vyjmutí vložek a zbarvení srovnatelné ze sérií. Nelze použít z důvodu snížené kapacity stroje. [3]

4) Ideální přilnutí je možné jen v případě hybridních vložek (viz. kap. 2.3.1.1) kdy dojde k natavení přechodové vrstvy hliníku nanesené na zalévané vložce. V ostatních případech mechanického spojení můžeme pouze usilovat o maximální stykovou plochu litiny a hliníku a zamezit vzniku mezer. [3].

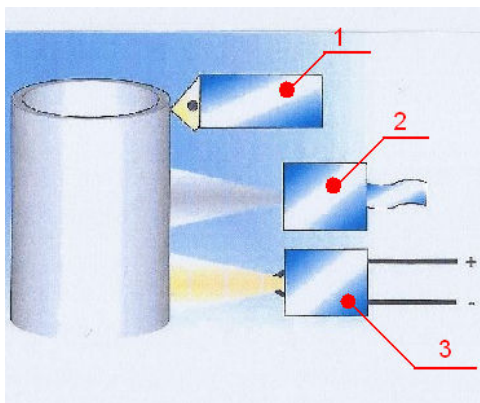
#### 2.3.1.1 Hybridní vložky



Obr. 2.5 Hybridní vložka válců

Hybridní vložky (obr.2.5). umožňují vyšší přilnavost obou komponent v důsledku specifického zpracování povrchu vložky válců. Princip metody spočívá v eliminaci dvou chemicky různorodých sloučenin při vlastním zalévání vložky, což je rozdíl proti sériovému zpracování, kdy v sériové výrobě při zalévání máme rozhraní litina - hliník.

U hybridních vložek, po opracování vnějšího povrchu vyjma zhotovení závitového profilu, je nanesena na povrch vložky slabá vrstva hliníku metodou „thermal - spraying“ (obr.2.6). Podstata metody spočívá v natavení hliníkového drátu elektrickým obloukem na teplotu tekutosti hliníkového drátu. V atomizační zóně je tekutý proud kovu rozprášený inertním plynem (většinou dusíkem nebo argonem) do sprejové formy. Po atomizaci kapky chladnou a ještě částečně roztavené dopadají na vložku, kde vytvoří zhutněnou vrstvu. Výsledná mikrostruktura je jemná, s rovnoměrnou distribucí sekundární fáze a bez segregace legur. [4] [5]



Obr. 2.6 Postup výroby hybridní vložky

- 1 - mechanické opracování
- 2 - tryskání a aktivace
- 3 - nanášení kovu el. obloukem

Tímto postupem se docílí při zalévání vložky do bloku rozhraní hliník - hliník, což vede v důsledku stejné teploty tání k lepšímu přilnutí bloku k vložce kvůli dobré difúzi hliníku obou komponent. Důkazem může být metalografie sériové a hybridní vložky zalité do hliníkového bloku, kde u hybridní vložky pozorujeme plynulý přechod (obr.2.7), kdežto u sériové vložky jasně diferencujeme rozhraní vložky a bloku (obr.2.8). [5]



Obr. 2.7 Metalografie přechodu hybridní vložky a bloku motoru



Obr. 2.8 Metalografie přechodu sériové vložky a bloku motoru

Srovnání sériové vložky v bloku (tab. 2.3) a hybridní vložky v bloku (tab.2.4).

**Tab. 2.3**

### Sériová vložka - blok

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| ■ <b>Výhody</b>                        | ■ <b>Nevýhody</b>                   |
| 1. Zaběhlý výrobní postup              | 1. Limitovaná tloušťka stěny        |
| 2. Přijatelná výrobní cena             | 2. Horší odvod tepla z vložky válců |
| 3. Menší náročnost na strojní vybavení | 3. Větší spotřeba oleje             |

**Tab. 2.4**

### Hybridní vložka - blok

- |   |  |
|---|--|
| ■ <b>Výhody:</b>                            | ■ <b>Nevýhody</b>                          |
| 1. Dobré intermetalické napojení            | 1. Vyšší výrobní cena než u sériové vložky |
| 2. Dobrý přestup tepla                      | 2. Náročnější technologický postup výroby  |
| 3. Možnost malé tloušťky stěny vložky válců |  |
| 4. Nízká spotřeba oleje                     |  |

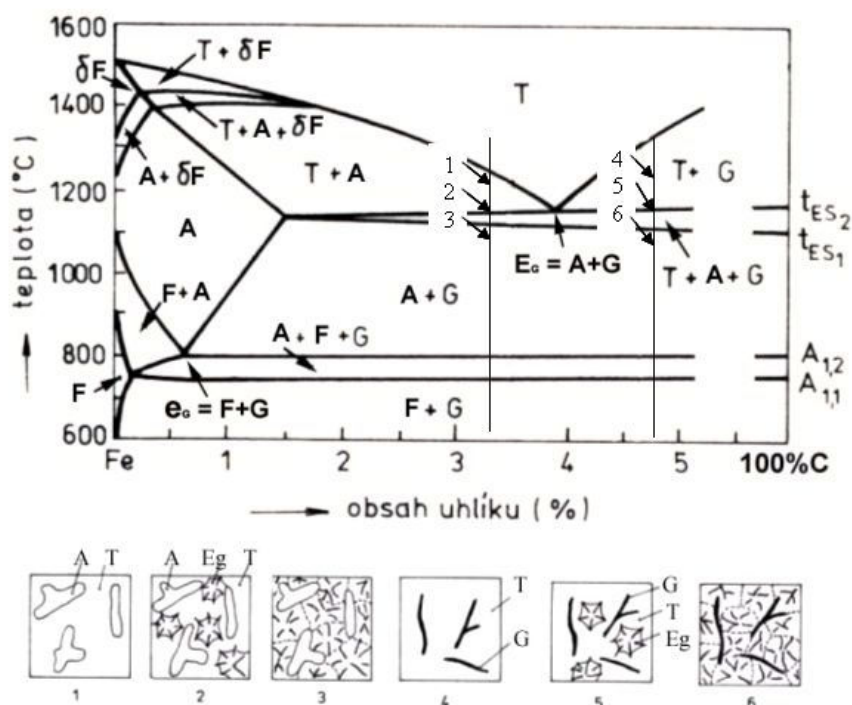


### 3 Teoretická část - charakteristiky materiálů, procesů a zkoušek

#### 3.1 Chemicko - technologické vlastnosti prvků a slitin

##### 3.1.1 Grafitická litina s lupínkovým grafitem

Lupínkový grafit je základním morfologickým typem grafitu. Grafitická litina s lupínkovým grafitem je nejstarším a nejběžnějším typem grafitické litiny. Dle normy je tato litina definována jako slitina železa (Fe) a uhlíku (C) dle diagramu Fe - C (obr. 3.1), v níž je volný uhlík přítomen jako grafit převážně ve tvaru lamelárních částic - lupínků (obr. 3.2).



Obr. 3.1 Pseudobinární rovnovážný diagram Fe - C - Si (pro 2% Si)

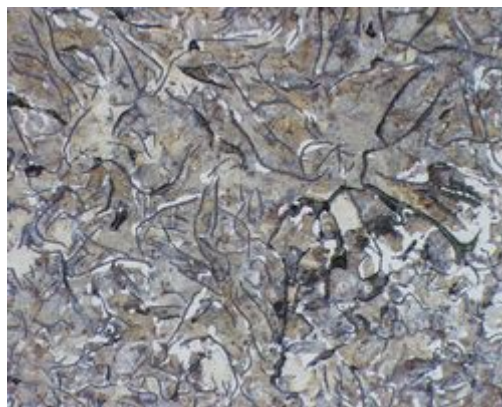
1 až 3 - schéma krystalizace podeutektické litiny s lupínkovým grafitem, 1 - vznik dendritů austenitu, 2 - vznik eutektických buněk (Eg), 3 - ukončená krystalizace, 4 až 6 - schéma krystalizace nadeutektické litiny s lupínkovým grafitem, 4 - vznik primárního grafitu (G), 5 - tvorba eutektických buněk (Eg), 6 - ukončená krystalizace

Je to poměrně levný konstrukční materiál s dobrými slévarenskými vlastnostmi. Protože lupínky grafitu vytváří v základní kovové hmotě litiny velké množství vrubů, snižují mechanické vlastnosti; hlavní nevýhodou je nízká pevnost (méně než 400 MPa v tahu). Deformační charakteristiky jsou minimální, tažnost těchto litin je menší než 1%. Litiny s lupínkovým grafitem jsou v převážné míře podeutektické o základním chemickém složení: 2,8 - 3,6% C; 1,7 - 2,4% Si; 0,5

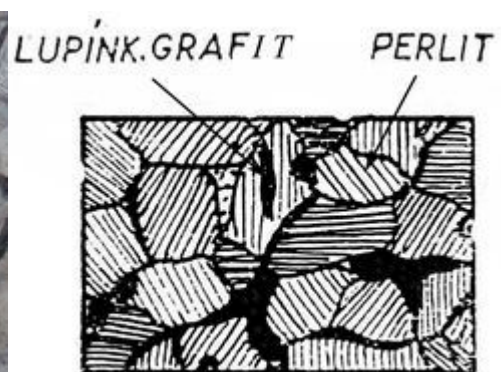
- 1,0% Mn; 0,2 - 0,5% P; max. 0,15% S a event. možnost přítomnosti dalších legujících prvků (Cr, Cu, Mo, Ni, Sn aj.)



a) Litina s lupínkovým grafitem s matricí feritickou



b) Litina s lupínkovým grafitem s matricí feriticko-perlitickou



c) Litina s lupínkovým grafitem s matricí perlitickou

**Obr. 3.2 Struktury litin s lupínkovým grafitem**

Pro hodnocení vlivu křemíku a dalších průvodních prvků v litině na polohu eutektického bodu, tj. koncentraci uhlíku v eutektiku a tím i na množství a hrubost grafitu v matrici litiny, se používá stupeň eutektičnosti  $S_e$ . Je to



charakteristická hodnota, která ukazuje novou polohu eutektického bodu. S dostatečnou přesností lze vypočítat stupeň eutektičnosti ze vztahu :

$$S_c = \% C / (4,26 - 0,312 \times \% Si - 0,275 \times \% P)$$

Stupeň eutektičnosti ukazuje zda je litina podeutektická ( $S_c < 1$ ), eutektická ( $S_c = 1$ ), nadeutektická ( $S_c > 1$ ). Jestliže má litina nadeutektické složení, obsahuje velké částice primárního grafitu, které nejsou žádoucí. Obvykle je dávána přednost litinám s  $S_c$  rovným 0,85 - 0,95. S rostoucím stupněm eutektičnosti klesá pevnost i tvrdost litin. Grafitické částice v litinách lze zjemňovat očkovaním. Jako očkovač se využívá např. Fe - Si (ferosilicium).

Křemík (Si) je nejdůležitější grafitotvorná přísada v litině, která podporuje rozpad eutektického i eutektoidního cementitu a snižuje koncentraci uhlíku v eutektiku. To znamená, že podeutektická litina bude se stoupajícím množstvím křemíku tuhnout jako eutektická či nadeutektická. Čím větší je obsah křemíku v litině, tím se zvyšuje podíl grafitu v matici (vzniká hrubší lupínkový grafit), vzrůstá podíl feritu ve struktuře a klesá množství perlitu. V důsledku těchto strukturních změn klesá pevnost v tahu i ohybu. Obsah křemíku závisí rovněž na ochlazovací rychlosti (tloušťce stěny) odlitku. při velké ochlazovací rychlosti (tj. malé tloušťce stěny) je třeba zvýšit obsah křemíku, neboť jeho grafitizačním účinkem se kompenzuje vliv karbidotvorných prvků v litině (Mn, popř. S).

Mangan (Mn) je v litině vázán částečně na síru jako komplexní sulfid  $[MnFe]S$  a přebytek se rozpouští v matici, kde stabilizuje cementit. Minimální obsah manganu, k vyvázání síry a k zabránění jejího odmíšení po hranicích eutektických buněk, lze určit ze vztahu:

$$\% Mn_{min} = 1,7\% S + 0,45$$

Větší stabilitu perlitu v základní kovové hmotě je možno očekávat až při obsahu manganu nad 1 %.

Síra (S) (volná, nevázaná) je prvkem, který v litině stabilizuje cementit. Proto musí být vázána na mangan a železo a její se musí udržovat co nejmenší.

Fosfor (P) při obsahu nad 0,3 % tvoří binární nebo ternární eutektika - steadit. Jeho výskyt ve struktuře litin zvyšuje jejich tvrdost, křehkost a odolnost proti opotřebení. Fosfor příznivě ovlivňuje tekutost a zabíhavost.

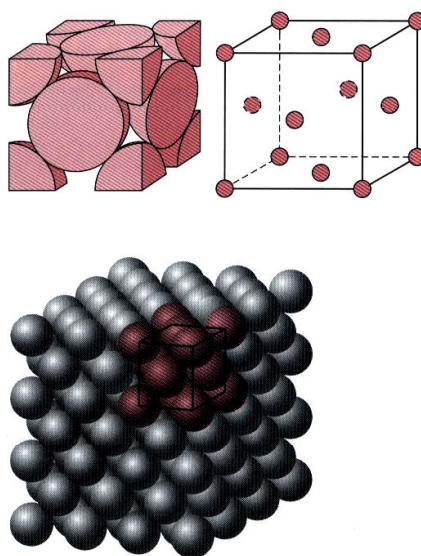
Fyzikální vlastnosti šedé litiny: pevnost v tahu (100 - 350MPa), tvrdost (180 - 270 HB), modul pružnosti v tahu  $E$  ( $8 \times 10^4$  -  $15 \times 10^4$ ). [6] [7] [8] [16]

### 3.1.2 Hliník a jeho slitiny

Hliník (Al) řadíme mezi lehké kovy, tj. kovy s hustotou nižší než  $5000\text{kg/m}^3$ . Vlastnosti technicky čistého hliníku (99,5%): teplota tání  $660^\circ\text{C}$ , hustota  $2690\text{kg/m}^3$ , modul pružnosti v tahu 71 GPa, mez pevnosti v tahu 70 MPa, mez kluzu 20 MPa, tažnost 20-30%, tvrdost 20 HB. Hliník je kov na vzduchu poměrně stabilní díky tvorbě pasivní ochranné vrstvy ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) na povrchu. Je to výborný elektrický (cca 60% vodivosti čisté Cu) a tepelný vodič. Krystalová struktura hliníku je kubická plošně centrovaná (obr. 3.3). Z tohoto důvodu je čistý hliník poměrně měkký a tvárný. Nízká pevnost čistého Al omezuje jeho použití jako konstrukčního materiálu, proto je třeba hliník legovat vhodnými zpevňujícími prvky (Cu, Mg, Mn, Si, Zn). Vzhledem ke složitosti výroby Al bývá čistý Al znečištěn tzv. nežádoucími prvky (Fe, Si, O, H), ovšem existují slitiny kam jsou železo a hlavně Si záměrně přidávanými legujícími prvky. Podle technologie zpracování dělíme hliníkové slitiny na slitiny pro tváření a slévárenské. Slévárenské slitiny obsahují vyšší množství legujících prvků tvořících křehké a tvrdé fáze ve struktuře.

Nejvýznamnější slévárenské slitiny Al jsou slitiny Al - Si, známé pod obchodním názvem siluminy. Slitiny Al - Si, označované jako binární nebo jednoduché siluminy se dělí na podeutektické (pod 11,7 hm.% Si), eutektické (kolem 11,7 hm.% Si) a nad eutektické (od 11,7 do 24 hm.% Si). Nejlepší slévárenské vlastnosti mají eutektické siluminy. Eutektická teplota je  $577^\circ\text{C}$ . Eutektikum v binárních siluminech představuje směs tuhého roztoku  $\alpha$  a

krystalů téměř čistého křemíku (fáze  $\beta$ ). Eutektikum přítomné v poměrně velkém obsahu (40 - 75 hm.%) dává binárním siluminům nejen vysokou zabíhavost, ale také snižuje jejich lineární smrštění a sklon k tvorbě trhlin za tepla a sklon ke vzniku mikropórovitosti. K přednostem binárních siluminů patří dobrá odolnost vůči korozi. Slitiny Al - Si nelze precipitačně vytvrzovat. [6] [7] [12] [14] [19]



Obr. 3.3 Kubická plošně centrovaná soustava

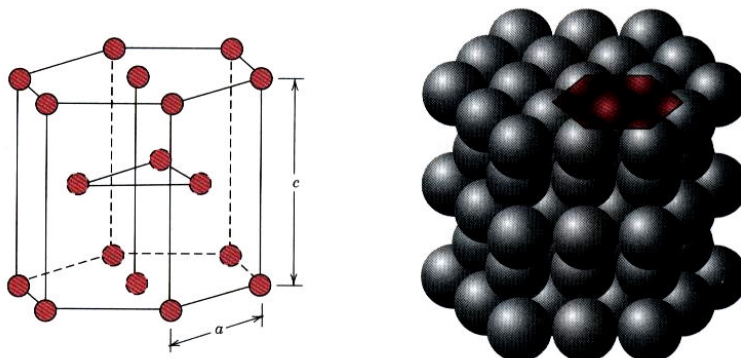
### 3.1.3 Zinek

Zinek (Zn) řadíme mezi neželezné kovy. Je to kov s hustotou  $7130\text{kg/m}^3$  a teplotou tání  $420^\circ\text{C}$ . Krystalová mřížka je hexagonální (obr. 3.4). Zinek nelze tváření zpevňovat díky nízké rekrytalizační teplotě. Výhodou zinku je jeho dobrá odolnost proti atmosférické korozi díky tvorbě pasivní ochranné vrstvy zásaditých uhličitánů na povrchu.

Hlavní využití zinku je v povrchové ochraně ocelových výrobků proti korozi. Povrchové zinkové vrstvy jsou připravovány buď galvanicky nebo žárově.

Slitiny zinku jsou méně významné. Nejpoužívanější z nich jsou slitiny Zn - Al - Cu (cca 4% Al a do 3% Cu). Využívají se na výrobu drobných odlitků, z velké části tlakově litých (odlitky karburátorů, části zámků atd.). Slitiny mají dobrou

slévateľnost a u odlitků litých pod tlakem lze dosáhnout pevnosti v tahu až přes 450 MPa. [6] [19]



Obr. 3.4 Soustava hexagonální

### 3.1.4 Měď a její slitiny

Měď (Cu) patří mezi neželezné kovy. Její hustota je  $8940 \text{ kg/m}^3$  a teplota tání  $1083^\circ\text{C}$ . Krystalová struktura mědi je kubická plošně centrovaná (obr 3.3), díky čemuž je měď tvárná a poměrně měkká. Ve vyžíhaném stavu je pevnost mědi cca 200 MPa a tažnost až 40%. Tvářením za studena lze měď zpevnit až na 400 MPa. Měď je výborný elektrický a tepelný vodič. Díky své ušlechtilosti se měď vyznačuje dobrou korozní odolností na vzduchu, ve vodách i ve zředěných kyselinách. Na vzduchu se pokrývá vrstvou korozních produktů s charakteristickým zeleným zbarvením (patina).

Jsou-li na výrobky kladeny vyšší mechanické požadavky, je třeba použít slitiny mědi s vhodnými prvky (Zn, Sn, Pb, Al, Ni, Mn, Be atd.). Měděné slitiny se rozdělují do dvou základních skupin a to na mosazi a bronzы.

Mosazi jsou slitiny u nichž je hlavním legujícím prvkem zinek. U bronzů je to obecně jiný prvek než zinek např.: bronzы cínové (Cu - Sn), hliníkové (Cu - Al), olověné (Cu - Pb), berylliové (Cu - Be) a další. [6] [15]

### **3.1.5 Nikl**

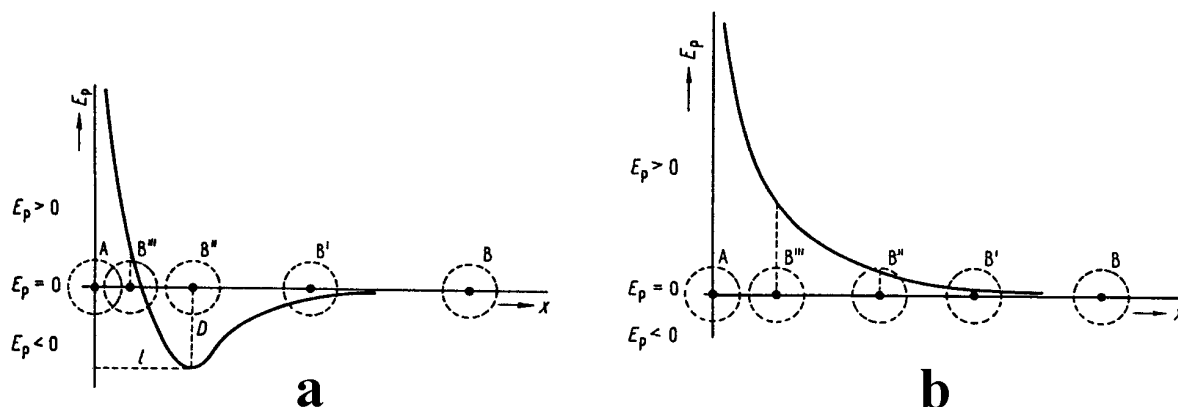
Nikl (Ni) je feromagnetický kov s hustotou  $8900\text{kg/m}^3$  a teplotou tání  $1455^\circ\text{C}$ . Krystalová struktura je kubická plošně centrovaná (obr. 3.3), proto má nikl dobré plastické vlastnosti a tvářením za studena výrazně zpevňuje. Hlavní využití niklu je pro legování jiných slitin, zejména korozivzdorných ocelí. Dále je nikl ve formě galvanických povlaků využíván k povrchové ochraně kovových součástí. [6] [15]

## **3.2 Teoretické aspekty chemických vazeb v kovech**

### **3.2.1 Chemická vazba**

S výjimkou vzácných plynů jsou volné atomy schopny jen zřídka kdy samostatné existence (pouze za vysokých teplot). Za běžných podmínek se sdružují ve složitější stabilní útvary tj. molekuly. Příčinou soudržnosti jsou značné síly a to síly valenční (chemická vazba). Současná teorie chemické vazby vychází z výsledků kvantové mechaniky. Kvantová mechanika popisuje molekuly jako soubory atomových jader a elektronů a snaží se určit elektronovou konfiguraci molekuly, tj. rozmístění elektronů v molekulových orbitalech (MO).

Chemická vazba mezi atomy vznikne v případě, dojde-li při tomto ději k uvolnění energie. Předpokladem vzniku jedné či více vazeb mezi atomy je přiblížení, při kterém dojde k průniku elektronových obalů a snížení potenciální energie systému. Pokud při průniku nedojde ke snížení potenciální energie, vazba nevznikne (obr.3.5). [10] [11]



a - vzniká vazba

b - nevzniká vazba

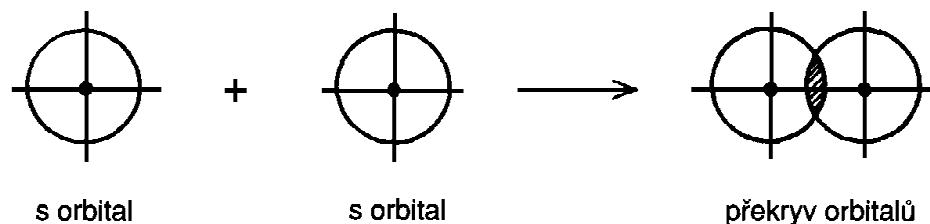
Obr. 3.5 Schématické znázornění změny potenciální energie systému při přibližování dvou atomů

Při přibližování atomů se až do určité vzdálenosti uplatňují přitažlivé síly, které vedou ke snížení celkové energie systému. V okamžiku, kdy systém dosáhne energetického minima, přibližování ustane a atomy zůstávají v kontaktu v určité vzdálenosti. Při dalším přibližování by se začaly uplatňovat odpudivé síly.

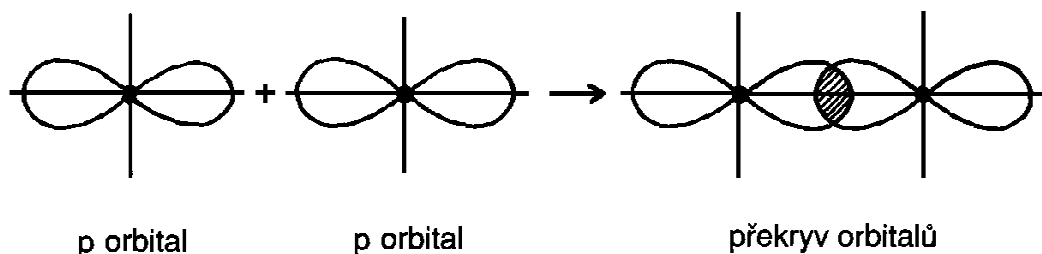
Nejobecnější teorií chemické vazby je teorie molekulových orbitalů (MO). Při vzniku chemické vazby dochází k takovému přiblížení atomů, že dojde k překryvu jejich atomových orbitalů (AO) (obr. 3.6) a přeměně na molekulové orbitály.

Pro vznik MO překryvem a lineární kombinací AO platí tato pravidla:

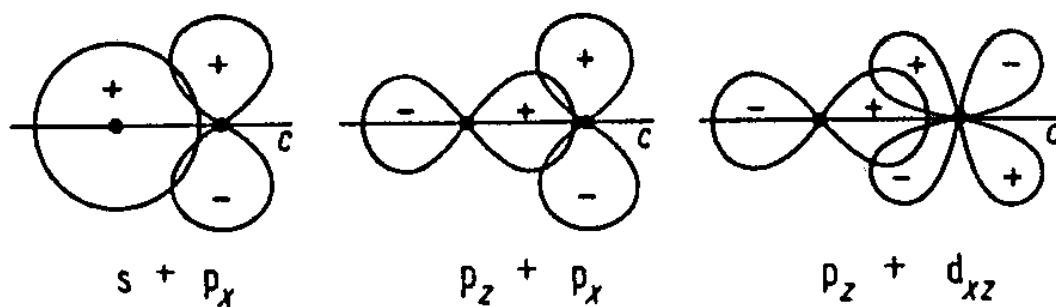
- 1) překryv dvojice AO je účinný, tj. vede ke vzniku vazby, je tehdy, nemá-li původní AO příliš rozdílnou energii
- 2) počet vznikajících MO je vždy roven počtu AO, které se překryvu účastní
- 3) účinný překryv je podmíněn stejnou symetrií AO k ose vznikající vazby (obr. 3.7 a obr. 3.8)
- 4) vzniku MO se účastní pouze valenčních AO vazebných elektronů, vnitřní AO se neúčastní.



Obr. 3.6 Překryv atomových orbitalů



Obr. 3.7 Účinné překryvy AO (stejná symetrie vůči ose vazby, vazba vzniká)

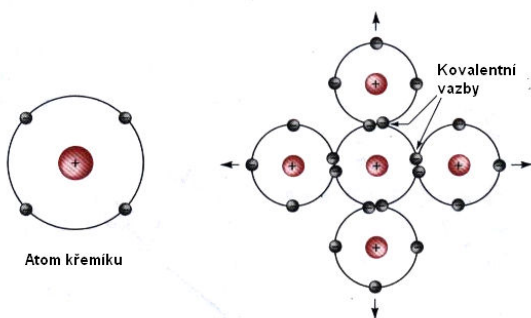


Obr. 3.8 Neúčinné překryvy AO (nestejná symetrie vůči ose vazby, vazba nevzniká)

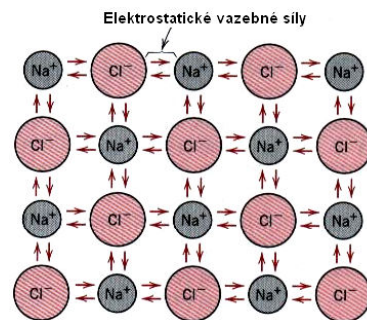
Všechny typy chemické vazby lze odvodit ze stejných představ o MO. Podle charakteru interakce elektronových obalů, rozdílu energií vstupujících AO a elektronegativity obou vázaných atomů rozlišujeme několik typů chemické vazby: a) kovalentní a koordinačně kovalentní (obr. 3.9)

b) iontová (obr. 3.10)

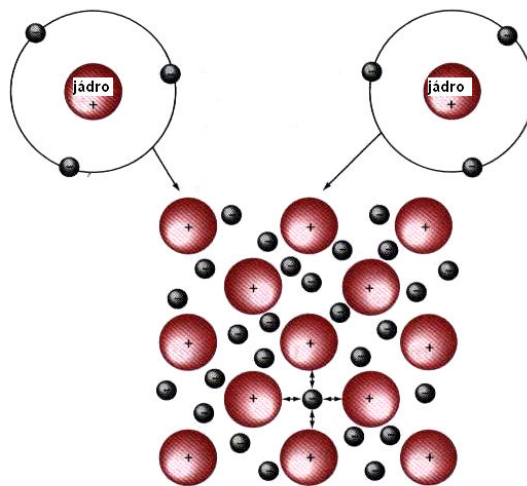
c) kovová (obr. 3.11) [11]



Obr. 3.9 Kovalentní vazba mezi atomy křemíku



Obr. 3.10 Iontová vazba (NaCl)



Obr. 3.11 Schéma kovové vazby

### 3.2.2 Difúzní procesy

Difúze je jedním ze způsobů přenosu hmoty, při kterém se její částice (atomy, molekuly, ionty), i vakance pohybují vzhledem k sousedním částicím. Je to děj, který vyvolává změnu v koncentraci (zmenšují se koncentrační rozdíly). Protože podstatou difúze je tepelný pohyb částic hmoty, je intenzita difúze výrazně závislá na teplotě. K difúzi dochází v každém skupenství, v tuhé fázi je však jediným způsobem přenosu hmoty.

V mnohosložkové heterogenní soustavě se difúzí mění chemické složení jednotlivých fází a přenos hmoty se uskutečňuje i přes fázové rozhraní za předpokladu, že difundující prvek je v dané fázi alespoň částečně rozpustný.



Přenos hmoty mezi soustavou a okolím může být podmíněn jinými fyzikálně - chemickými ději např. disociací molekul, adsorpcí atomů atd.

Difúzí se zpravidla zmenšují koncentrační rozdíly, v opačném případě jde o obrácenou difúzi. Difúze v jednosložkové soustavě nebo fázi se nazývá autodifúze. Autodifúzi můžeme sledovat pouze pomocí radioaktivních izotopů daného prvku. Protože podstatou difúze je tepelný pohyb částic hmoty, je intenzita difúze výrazně závislá na teplotě.

Technický význam difúze spočívá jak v prospěšných, tak ale i ve škodlivých změnách koncentrace a ve fázových či strukturních přeměnách buď jen v povrchových vrstvách výrobků anebo v celém jejich objemu. Příkladem prospěšných koncentračních změn je povrchové zvýšení obsahu vybraných prvků při chemicko - tepelném zpracování konstrukčních ocelí, kdežto třeba oduhličení nástrojových ocelí při jejich zpracování za vysokých teplot je škodlivé. Prospěšné fázové přeměny, ke kterým dochází pomocí difúze v celém objemu výrobku, jsou přeměny při některých druzích žíhání slitin. Naproti tomu k škodlivým strukturním změnám patří difúze vakancí, které se při tečení (creepu) spojují na hranicích zrn polykrystalického materiálu v kavity, čímž začíná mezikrystalový lom. Difúze je rovněž významná při odlévání, tváření za tepla, pájení svařování, slinování a v četných dalších technologických procesech. [9]

### **3.2.2.1 Mechanismy difúze**

Jednoduché představy o mechanismech difúze jsou založeny na poznatcích o různé pohyblivosti částic v různých skupenstvích hmoty. Neuspořádaný pohyb molekul v plynech je podle kinetické teorie charakterizován velkými hodnotami jejich střední kvadratické rychlosti a volné dráhy. V kondenzovaných fázích je pohyb atomů (iontů) ve srovnání s pohybem molekul v plynech značně omezen

a to zejména v tuhé fázi, v níž jsou atomy po delší dobu vázány k určitým polohám.

Difúzní pohyb atomů v krystalické mřížce může probíhat několika způsoby. Rozhodující je přitom velikost atomů difundujícího prvku. Mechanismy difúze v krystalických materiálech můžeme rozdělit na individuální, při nichž se pohybuje (migruje) jedna částice či vakance nezávisle na ostatních, a na skupinové, které charakterizuje koordinovaný pohyb více částic.

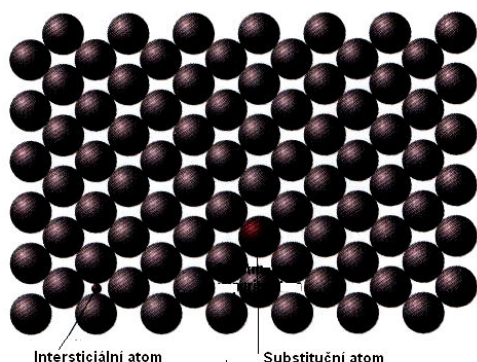
K individuálním mechanismům patří mechanismus intersticiální a mechanismus vakantní, pro které je určující poměr velikostí atomů difundujícího prvku a základního prvku.

Intersticiální difúze (obr. 3.12) je pohyb atomů malých průměrů mezi uzlovými místy v mřížce. Tak difundují atomy prvků, které tvoří tzv. interstetické tuhé roztoky. Pohyb těchto atomů v krystalové mřížce je snadný a rychlost difúze je vysoká, a mechanismus má nejmenší aktivační energii.

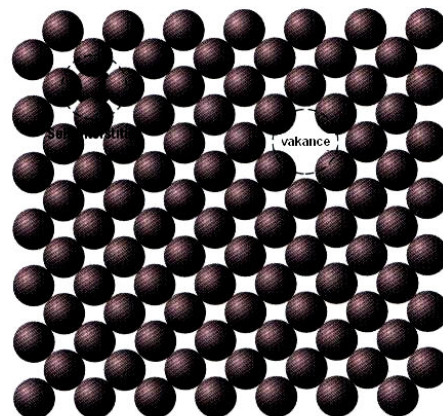
Vakantním mechanismem (obr. 3.13), při němž atomy využívají ke svému přemístění blízké vakance, difundují atomy při samodifuzi a atomy přídavného prvku tvořící se základním prvkem substituční tuhé roztoky. Aktivační energie vakantního mechanismu difúze vyšší než u mechanismu intersticiálního, protože je třeba uvažovat také energii potřebnou na vytvoření a na migraci vakancí.

Mezi skupinové mechanismy řadíme mechanismus výměnný, kruhový a nepřímý intersticiální. Nejjednodušším koordinovaným pohybem se zdá být výměna mezi dvěma sousedními stejně velkými atomy, ale jsou-li tyto atomy na poloviční cestě, dojde ke značné distorzi krystalové mřížky. Teoretické výpočty aktivační energie potřebné pro uskutečnění výměnného mechanismu dávají hodnoty několikanásobně větší než pro přeskok atomu do vakance. Proto je pravděpodobnost výskytu výměnného mechanismu malá. Naproti tomu kruhový mechanismus ve srovnání s vakantním mechanismem je energeticky náročnější jen asi o třetinu.

Difúze v krystalických materiálech je do určité teploty velmi silně urychlována poruchami krystalové mřížky. V substitučních tuhých roztocích jsou nezbytnou podmínkou vakance. [9]



Obr. 3.12 Mechanismus intersticiální difúze



Obr. 3.13 Mechanismus vakantní difúze

### 3.2.3 Soudržnost (Adheze)

Dobré spojení mezi povlakem a základním kovem nebo slitinou je pro využití rozhodující. Obecně může být mezi kovy a slitinami vazba kovová (tvoří-li oba prvky tuhý roztok, nebo se mezi atomy obou materiálů uplatní Van der Waalsovy síly (intermolekulární síly, které jsou  $10^2 - 10^3$  krát slabší než chemické vazby). V případě spojení kovů s nekovovými sloučeninami přicházejí v úvahu ještě vazby iontové a kovalentní podle charakteru látek. Na dokonalosti spojení a vazeb závisí užité vlastnosti celku. Na spojení povlaku s materiálem má zásadní vliv příprava povrchu základního materiálu. Nejčastěji se používá mechanické čištění tryskáním. Tím se mění geometrické vlastnosti povrchu; povrchová vrstva se zpevňuje a “aktivuje“, příznivě se uplatňuje i určitá drsnost povrchu pro zlepšení mechanického spojení.

Předpokladem mechanického spojení je vyplnění nerovností povrchu základního materiálu částicemi, což je možné při dobré tekutosti resp. deformovatelnosti dopadající částice a její velké energii dopadu. Naproti tomu ostré rýhy na povrchu základního materiálu jsou pro dobré spojení povlaku se základním materiálem nevýhodné. [17]

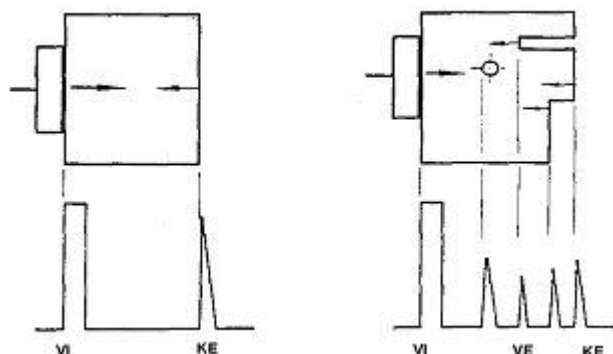
### 3.3 Charakteristika UZ měřících metod a postup metalografie

#### 3.3.1 UZ měřící metody

Nedestruktivní zkoušení (NDT) je obor, který se zabývá zkoušením materiálů a výrobků bez jeho porušení. Jednou z hlavních metod NDT je zkoušení materiálů a výrobků ultrazvukem. Vzhledem k tomu, že ultrazvukovou metodu (impulsní odrazová metoda) je možné používat ke kontrole výrobků přístupných pouze z jednoho povrchu, využívá se této metody velmi často ke zjišťování úbytků tloušťky stěny způsobených korozí resp. erozí u potrubí, tlakových nebo skladovacích nádob, kotlů, detekce vad materiálu apod.

Ultrazvuk jsou mechanické kmity částic prostředí kolem rovnovážné klidové polohy o frekvencích vyšších než 20 kHz (neslyšitelné frekvence). Ultrazvukové vlny šířící se prostředím mohou být různého druhu (především podélné a příčné) a vzájemně se liší způsobem pohybu částic v prostředí vzhledem ke směru šíření této vlny. V neohraničeném prostředí je rychlost šíření UZ vln konstantní a je závislá na modulu pružnosti a hustotě prostředí. Šíření ultrazvukových vln je ovlivněno každým rozhraním, na kterém pak nastává odraz vln resp. při šikmém dopadu i lom vlny. Pro zkoušení materiálu se používá: 1) průchodová metoda, při níž se musí používat dvě pokud možno stejné sondy, která jsou umístěny proti sobě na protilehlém povrchu výrobku. Jedna sonda slouží jako vysílací, druhá sonda jako přijímací. Při této metodě nelze určovat polohu vady ve směru tloušťky a hodnotí se jakost podle množství průchodu ultrazvukové energie, obvykle v procentech. 2) impulsová odrazová metoda, při této metodě se do materiálu vysílá ultrazvukovou sondou krátký ultrazvukový impuls, který se odráží od všech rozhraní, tedy od vnitřních vad i od protilehlého povrchu výrobku. V okamžiku vysílání UZ impulsu se na stínítku obrazovky objeví tzv. vysílací impuls (VI). Po kalibraci ultrazvukového přístroje se za dobu odpovídající dvojnásobku vzdálenosti vady od sondy objeví na stínítku impuls

tzv. vadové echo (VE) a dále koncové echo (KE) tj. odraz od protilehlé stěny výrobku. (obr 3.14)



Obr. 3.14 Princip průchodové metody (vlevo) a odrazové metody (vpravo)

Rychlost šíření ultrazvukových vln v homogenním prostředí je konstantní a závisí na modulu pružnosti a hustotě prostředí ( $E = c \times p$ ). Rychlost je definována následujícím vztahem (tab. 3.1):

Tab. 3.1 Vztahy pro výpočet rychlosti UZ vln pro obě metody

$c = \frac{2d}{t}$	$c = \frac{d}{t}$
platí pro odrazovou metodu	pro průchodovou metodu
<ul style="list-style-type: none"> <li>– <math>c</math> = rychlost šíření uz vln v prostředí;</li> <li>– <math>d</math> = tloušťka prostředí;</li> <li>– <math>t</math> = doba průchodu uz vlny prostředím.</li> </ul>	

Rychlost šíření UZ vln je materiálová konstanta, na které závisí dráha jakou ultrazvuk v příslušném materiálu proběhne za jednotku času. Pro průchod nejmenší měřitelné dráhy tedy potřebuje ultrazvuková vlna pro rozdílné materiály i rozdílnou dobu průchodu. Hodnota rychlosti šíření UZ vlny je uváděna v odborné literatuře pro řadu známých materiálů. [18]

### 3.3.2 Příprava metalografického vzorku

Metalografie je nauka, která pojednává o vnitřní stavbě kovů a slitin. Jejím cílem je zviditelnění struktury materiálu a následné studium pomocí optického či elektronového mikroskopu.

Metalografie umožňuje zjišťovat souvislosti mezi strukturou materiálu a jeho vlastnostmi, sledovat a kontrolovat vlastnosti materiálu při jeho výrobě a

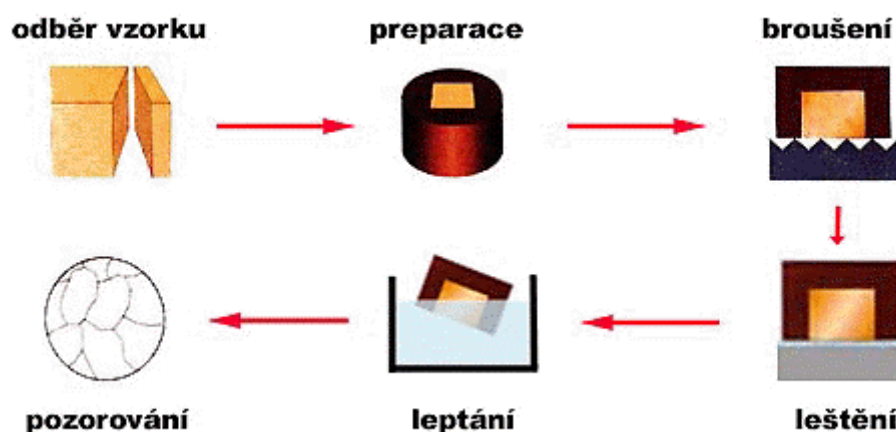
zpracování (průběžná či mezioperační kontrola), hledat příčiny vad materiálu nevyhovujících výrobků nebo vysvětlit důvody selhání nějakého zařízení.

Kovy a jejich slitiny jsou materiály neprůhledné a k jejich pozorování tedy používáme optické mikroskopy v režimu odrazu. A protože nejvyšší odrazivost mají plochy dokonale rovné a hladké, naším cílem bude připravit vzorek právě s takovou plochou.

Postup přípravy vzorku pro pozorování (tzv. metalografického výbrusu) se skládá z několika na sebe navazujících kroků:

- 1) odběr vzorku
- 2) preparace vzorku (pouze u některých vzorků)
- 3) broušení
- 4) leštění
- 5) leptání

Jednoduché schéma postupu je na (obr. 3.15). Každý z uvedených kroků velmi výrazně ovlivňuje kvalitu výsledného metalografického výbrusu a proto se preciznost provedení každého kroku projeví na budoucích možnostech pozorování vzorku. [19]



Obr 3.15 Schéma tvorby metalografického výbrusu

## 4 Experimentální část

### 4.1 Stanovení cíle práce

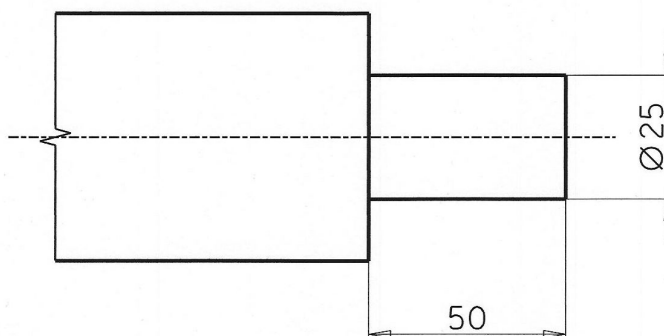
Hlavním cílem práce je ověřit vliv povrchové úpravy vložky válců na výsledné spojení vložky válců a bloku motoru po jejím zalití do Al slitiny. Experimentální část jsem rozdělil na dva celky. V prvním celku je experiment prováděn na tyčinkách (vzorcích), ze shodného materiálu jako vložka válců (GJL), povrchově upravených a zalitých ve formě do Al slitiny. Hodnocení soudržnosti je provedeno zkouškou tlakem a metalografií vzorků.

V druhé části je experiment proveden na vložkách válců s upraveným povrchem, zalitých do sériového bloku motoru. Hodnocení přechodové vrstvy je provedeno pomocí ultrazvukové metody.

## 4.2 Experiment provedený na litinových vzorcích

### 4.2.1 Příprava vzorků a forem

Na vzorcích, pro účely experimentu speciálně odlitých, bylo na soustruhu provedeno opracování plochy určené k další povrchové úpravě (obr 4.1). Takto bylo připraveno 45 ks vzorků. U všech vzorků byly dodrženy stejné řezné podmínky, aby se eliminoval vliv rozdílné drsnosti na výsledek experimentu. Naměřená drsnost na opracované ploše byla Ra 6,1.



Obr 4.1 Náčrt vzorku s rozměry zalévané plochy

Jako matrice pro výrobu forem byla použita ocelová závitová trubka TR DN 50 - ČSN 42 5710 - 11 343, která byla rozřezána na strojní pile na 45 ks vzorků. Poté byla na soustruhu zarovnána čela na výslednou výšku 37 mm. Další část formy tvoří ocelová podložka ČSN 02 1727. Vnitřní průměr této podložky byl

na soustruhu zvětšen na  $\varnothing$  25 mm. Takto připravené části výsledné formy byly k sobě svařeny při dodržení souososti vnitřních průměrů trubky a podložky, pomocí CO<sub>2</sub> sváření do definitivní podoby (obr 4.2).



Obr 4.2 Forma

#### 4.2.2 Povrchové úpravy opracovaných ploch vzorků

Při přípravě byly použity čtyři základní metody povrchové úpravy a to galvanické leštění jako předstupeň pokovení galvanického a pokovení chemického; fosfátování. Povrchy vybraných vzorků byly ošetřeny galvanicky v leštící lázni z důvodu odstranění povrchových nečistot. Dva vzorky z každé podskupiny zůstaly bez leštění pro kontrolu vlivu povrchových nečistot na přilnutí pokovovacích prvků na vzorky. Dále nebyly leštěním upraveny vzorky určené k fosfátování a 7 vzorků srovnávacích (bez úpravy jako jsou vložky válců v sériové výrobě).

Leštící lázeň: složení leštící lázně: 370 ml kyseliny fosforečné koncentrované (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) + 560 ml glycerolu (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>) + 1 l vody (H<sub>2</sub>O). Pracovní teplota lázně byla 80°C. Napětí a proud odečtený ze zdroje stejnosměrného proudu: U = 6,7 V, I = 2,8 A, čas působení lázně na jeden vzorek byl 10 minut. Vzorek sloužil jako anoda. Katoda byla z nerezové oceli. Poté následovala vlastní definitivní povrchová úprava.



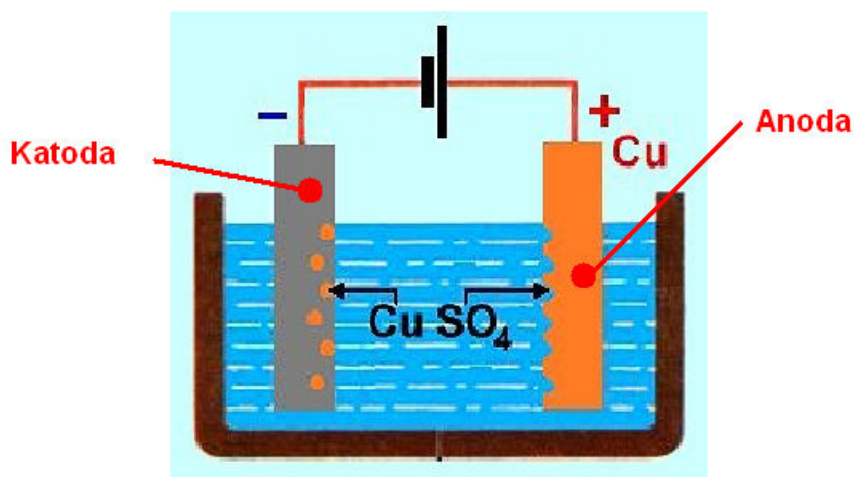
1) Chemické pokovení - mědění - měď se vylučuje chemickým způsobem na povrch litiny dosti snadno. Složení pokovovací lázně: 1 l  $\text{H}_2\text{O}$  + 50 g síranu měďnatého ( $\text{CuSO}_4$ ) + 45 ml kyseliny sírové koncentrované ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); pracovní teplota lázně byla  $20^\circ\text{C}$ . Čas ponoření vzorku do roztoku byl 10 sekund.

2) Galvanické pokovení - mědění - měď se vylučuje na povrch katody za průchodu stejnosměrného napětí. Složení galvanizační směsi: 1 l vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ) + 45 ml kyseliny sírové koncentrované ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Jako anoda sloužil měděný plech, jako katoda vzorek. Napětí  $U = 1,3 \text{ V}$ , proud  $I = 2,9 \text{ A}$ , čas galvanizace jednoho vzorku  $t = 10 \text{ minut}$ .

3) Galvanické pokovení - niklování - před niklováním bylo provedeno chemické mědění (viz odst. 1). Složení galvanizační směsi: 170 g síranu nikelnatého ( $\text{NiSO}_4$ ) + 120 g síranu sodného ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) + 20 g chloridu sodného ( $\text{NaCl}$ ) + 20 g kyseliny borité ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) + 1 l vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Pracovní teplota lázně je  $40^\circ\text{C}$ . Napětí  $U = 8 \text{ V}$ , proud  $I = 2,5 \text{ A}$ , čas galvanizace jednoho vzorku  $t = 10 \text{ minut}$ . Jako anoda sloužil platinový plech (Pt), jako katoda vzorek.

4) Galvanické pokovení - zinkování - složení galvanizační lázně: 200 g síranu zinečnatého ( $\text{ZnSO}_4$ ) + 100 ml kyseliny sírové ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) + 1 l vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Napětí  $U = 1,2 \text{ V}$ , proud  $I = 2,9 \text{ A}$ , čas galvanizace jednoho vzorku  $t = 10 \text{ minut}$ . Jako anoda sloužil zinkový plech, jako katoda vzorek.

Schéma zapojení galvanizační lázně platné pro všechny galvanické metody (obr. 4.3)



Obr 4.3 Schéma galvanizační lázně

Leštění a povrchové úpravy pod body 1 - 4 jsem provedl v laboratořích katedry analytické chemie PřF UK pod odborným vedením Mgr. Václava Červeného.

5) Fosfátování - bylo provedeno na fosfátovací lince kalírny M2 ve Škoda Auto a.s. Postup a složení 6 - ti lázní + 1x sušící pec

A) Chemické odmaštění:

- chemický přípravek: PRAGOLOD 90 + voda (3%)
- doba úkonu 13 min.
- teplota lázně 85°C

B) Horký oplach 1

- chemický přípravek: 27 l NEUTRAPON + voda (2%)
- doba úkonu - 2 x 1minuta
- teplota lázně 85°C

C) Aktivační oplach (dekapování)

- chemický přípravek: 3,4 kg GARDOLINE V6563  
3,4 kg GARDOLINE V6560 + voda
- doba úkonu 2 min.
- teplota lázně 50°C

D) Fosfátování lázeň

- chemický přípravek: PRAGOFOS 1401 +  $\text{Fe}^{2+}$
- doba úkonu 10 min.
- teplota lázně 90 – 95°C

E) Studený oplach

- bez chemického přípravku (voda)
- doba úkonu 1 min.

F) Horký oplach 2

- bez chemického přípravku
- doba úkonu 2 min.

G) Sušící pec

- teplota, 100 – 110°C
- doba úkonu 8 min.

V této chvíli byly všechny vzorky připraveny k zalití Al slitinou do zhotovených forem.

### 4.2.3 Zalití vzorků

Zalití vzorků se uskutečnilo ve slévárně hliníku ve Škoda Auto a.s.. Vzorek jsem umístil v ose formy (obr. 4.4) do otvoru ve dně formy (obr. 4.5), dále slévač zalil takto připravené vzorky Al slitinou, pomocí slévačské lžíce gravitačním litím (obr. 4.6) po okraj formy. Teplota hliníkové slitiny při odlévání byla cca 700 - 720°C. Po zalití Al slitinou následovalo ochlazení na vzduchu na teplotu okolí, bez jakéhokoliv dalšího tepelného zpracování. Vzhledem ke klesající teplotě Al slitiny při zalévání zůstal po každém zalití vzorku na povrchu ztuhlé Al slitiny ve formě trnovitý defekt (v místě ukončení lití). Trnovitý defekt je vidět na obrázku 4.6 v jeho levé části.



Obr 4.4 Ustavení vzorku



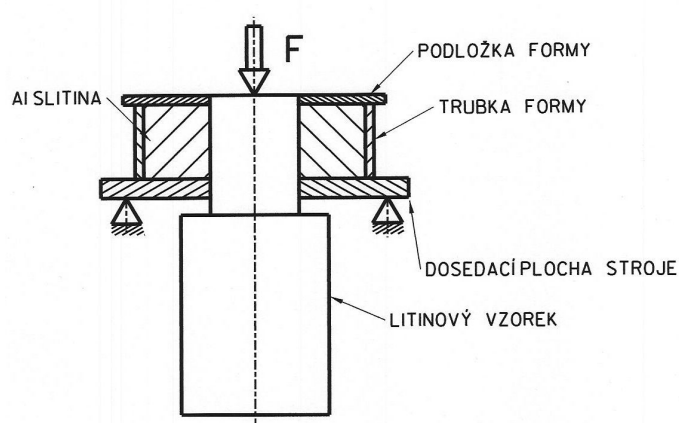
Obr 4.5 Vzorek ve dně formy



Obr 4.6 Zalitý vzorek

#### 4.2.4 Zkouška tlakem a výsledky metalografie

Cílem této zkoušky bylo ověřit na výsledných tlakových silách rozdíl mezi vzorky povrchově upravenými a vzorky bez povrchové úpravy (simulovány sériově vyráběné vložky válců). Zkouška spočívala v získání hodnot tlakových sil ( $F$ ) nutných pro odtržení vzorku od Al slitiny - překonání adhezních sil u různě upravených povrchů vzorků, tzn. překonání soudržnosti spoje mezi litinovým vzorkem nebo upraveným vzorkem a Al slitinou (obr. 4.7).



Obr 4.7 Schéma tlakové zkoušky vzorku

Výsledek tlakové zkoušky zaznamenávám v hodnotách výsledné použité síly, protože povrch na který síla působila je u všech vzorků identický. Podmínky zkoušky: rychlost zkoušky 5 mm/min., snímatelná síla 250 kN. Výsledná křivka grafu v určitých úsecích znázorňuje prodlevu způsobenou deformací trnovitého

defektu Al slitiny na dosedací ploše stroje. Naměřené hodnoty na jednotlivých vzorcích (tab. 4.1):

**Tab. 4.1: Výsledky 1. experimentu**

Vzorek	Pokovovací prvky	Leštění	Metalografie (číslo obr.)	Síla při odtržení [N]	Průběh zk.
A 1	Cu - chem.	Ano	Metalografie - obr. 4.8, obr. 4.9	-	-
A 2	Cu - chem.	Ne	-	53 302	Graf 4.1
A 3	Cu - chem.	Ano	-	73 718	Graf 4.2
A 4	Cu - chem.	Ano	-	73 936	Graf 4.3
A 5	Cu - chem.	Ano	-	81 802	Graf 4.4
A 6	Cu - chem.	Ano	-	85 220	Graf 4.5
A 7	Cu - chem.	Ne	Metalografie - obr. 4.10, obr. 4.11	-	-
B 1	Bez pokovení	Ne	Metalografie - obr. 4.12, obr. 4.13	-	-
B 2	Bez pokovení	Ne	-	71 707	Graf 4.6
B 3	Bez pokovení	Ne	-	101 443	Graf 4.7
B 4	Bez pokovení	Ne	-	93 587	Graf 4.8
B 5	Bez pokovení	Ne	-	90 585	Graf 4.9
B 6	Bez pokovení	Ne	-	77 410	Graf 4.10
B 7	Bez pokovení	Ne	Metalografie - obr. 4.14, obr. 4.15	-	-
C 1	Cu - galv.	Ano	-	45 108	Graf 4.11
C 2	Cu - galv.	Ne	Metalografie - obr. 4.16, obr. 4.17	-	-
C 3	Cu - galv.	Ano	-	47 552	Graf 4.12
C 4	Cu - galv.	Ano	-	47 430	Graf 4.13
C 5	Cu - galv.	Ano	Metalografie - obr. 4.18, obr. 4.19	-	-
C 6	Cu - galv.	Ano	-	46 958	Graf 4.14
C 7	Cu - galv.	Ne	Znehonocen při zalévání	-	-
D 1	Bez pokovení	Ano	-	68 011	Graf 4.15
D 2	Bez pokovení	Ano	-	60 705	Graf 4.16
D 3	Bez pokovení	Ano	Metalografie - obr. 4.20, obr. 4.21	-	-
D 4	Bez pokovení	Ano	-	111 646	Graf 4.17
D 5	Bez pokovení	Ano	Metalografie - obr. 4.22, obr. 4.23	-	-
D 6	Bez pokovení	Ano	-	61 165	Graf 4.18
D 7	Bez pokovení	Ano	-	67 318	Graf 4.19
E 1	Ni - galv.	Ne	Metalografie - obr. 4.24, obr. 4.25	-	-
E 2	Cu - chem.; Ni - galv.	Ano	-	79 430	Graf 4.20
E 3	Cu - chem.; Ni - galv.	Ano	Metalografie - obr. 4.26, obr. 4.27	-	-
E 4	Ni - galv.	Ne	-	70 384	Graf 4.21
E 5	Cu - chem.; Ni - galv.	Ano	-	86 212	Graf 4.22
E 6	Cu - chem.; Ni - galv.	Ano	-	93 053	Graf 4.23
E 7	Cu - chem.; Ni - galv.	Ano	-	85 021	Graf 4.24
F 1	Zn - galv.	Ano	-	80 430	Graf 4.25
F 2	Zn - galv.	Ano	Metalografie - obr. 4.28, obr. 4.29	-	-
F 3	Zn - galv.	Ano	-	88 959	Graf 4.26
F 4	Zn - galv.	Ne	Metalografie - obr. 4.30, obr. 4.31	-	-
F 5	Zn - galv.	Ano	-	99 686	Graf 4.27
F 6	Zn - galv.	Ano	-	123 903	Graf 4.28
F 7	Zn - galv.	Ne	-	73 921	Graf 4.29
G 1	Fosfát	Ne	Metalografie - obr. 4.32, obr. 4.33	-	-
G 2	Fosfát	Ne	-	82 599	Graf 4.30
G 3	Fosfát	Ne	-	73 276	Graf 4.31

Grafy průběhů tlakových zkoušek jsou v příloze č.1.

Při hodnocení jsem náhodně vybral z každé podskupiny jeden vzorek leštěný a jeden bez této povrchové úpravy, následně definitivně pokovené příslušným kovem k metalografickému zobrazení (přehled použitých vzorků v tab. 4.1). Proto tyto vzorky nebyly podrobeny tlakové zkoušce, ta by zničila styčnou plochu a tudíž by nebyla hodnotitelná výsledná metalografie.

Dle metalografie lze určit, že základní matici tvoří velmi jemný lamelární perlit (plošný obsah cca 90%) s minimálním podílem feritu, drobné útvary fosfidického eutektika jsou vyloučeny ve formě neúplného síťoví o velikosti jednotlivých útvarů  $2 \times 10^3 - 4 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ . Difúze dle metalografických výbrusů s největší pravděpodobností neproběhla u většiny zkušebních vzorků, pouze u fosfátovaného vzorku jistý stupeň difúze proběhl (obr. 4.32 a obr. 4.33). U neleštěného galvanicky pozinkovaného vzorku (obr. 4.30 a obr. 4.31) a u leštěného galvanicky niklovaného vzorku (obr. 4.24 a obr. 4.25) nelze jistý stupeň difúze vyloučit. Obrázky metalografických výbrusů jsou v příloze č.2.

## **4.3 Experiment na litinových vložkách zalitých v sériových blocích**

### **4.3.1 Příprava vložek**

V této části experimentu jsem testoval 15 vložek válců. 12 vložek bylo sériových - tzn. se zhotoveným závitovým profilem na vnějším povrchu vložky a 3 vložky válců byly prekurzory - tzn. sériové odlitky s otryskaným vnějším povrchem bez zhotovení závitového profilu. Na 9 - ti vložkách válců byly provedeny povrchové úpravy + 3 vložky byly sériové (jako komparativní skupina) + 3 vložky prekurzorové. Při přípravě byly použity tyto povrchové úpravy: odmaštění, aktivace povrchu (dekapování), chemické mědění, fosfátování. Postup jednotlivých povrchových úprav:

**Fosfátování** - bylo provedeno na fosfátovací lince kalírny M2 ve Škoda Auto a.s. Postup a složení 6 - ti lázní + 1x sušící pec

1) Chemické odmaštění:

- chemický přípravek: PRAGOLOD 90 + voda (3%)
- doba úkonu 13 min.
- teplota lázně 85°C

2) Horký oplach 1

- chemický přípravek: 27 l NEUTRAPON + voda (2%)
- doba úkonu - 2 x 1 minuta
- teplota lázně 85°C

3) Aktivační oplach (dekapování)

- chemický přípravek: 3,4 kg GARDOLINE V6563  
3,4 kg GARDOLINE V6560 + voda
- doba úkonu 2 min.
- teplota lázně 50°C

4) Fosfátování lázeň

- chemický přípravek: PRAGOFOS 1401 +  $\text{Fe}^{2+}$
- doba úkonu 10 min.
- teplota lázně 90 – 95°C

5) Studený oplach

- bez chemického přípravku (voda)
- doba úkonu 1 min.

6) Horký oplach 2

- bez chemického přípravku
- doba úkonu 2 min.

7) Sušící pec

- teplota 100 – 110°C
- doba úkonu 8 min.

**Chemické měření** - složení pokovovací lázně: 1 l  $\text{H}_2\text{O}$  + 50 g síranu měďnatého ( $\text{CuSO}_4$ ) + 45 ml kyseliny sírové koncentrované ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); pracovní

teplota lázně byla 20°C. Čas ponoření vzorku do roztoku byl 10 sekund.

**Chemické odmaštění** - složení odmašťovací lázně - chemický přípravek PRAGOLOD 90 + voda (3%), doba trvání úkonu je 13 min., pracovní teplota lázně je 85°C. Dále následuje horký oplach v chemickém přípravku 271 NEUTRAPON + voda (2%), doba trvání úkonu je 2 x 1 minuta, pracovní teplota lázně je 85°C.

**Aktivace (dekapování)** - následuje po chemickém odmaštění v aktivační lázni složené z GARDOLINE V6563 + GARDOLINE V6560 + voda, doba trvání úkonu je 2 min., pracovní teplota lázně je 50°C.

Takto upravené vložky válců byly zality standardním postupem do Al bloku válců. Vzhledem k použití licí formy pro blok motoru Škoda 1.2 HTP byly do každého bloku zality 3 vložky válců. Posléze byly vnitřní průměry všech zalitých vložek opracovány standardním způsobem na lince GROB.

Přehled bloků a v nich zalitých vložek s popisem jejich povrchových úprav (tab. 4.2)

Tab. 4.2: Přehled vložek válců v blocích

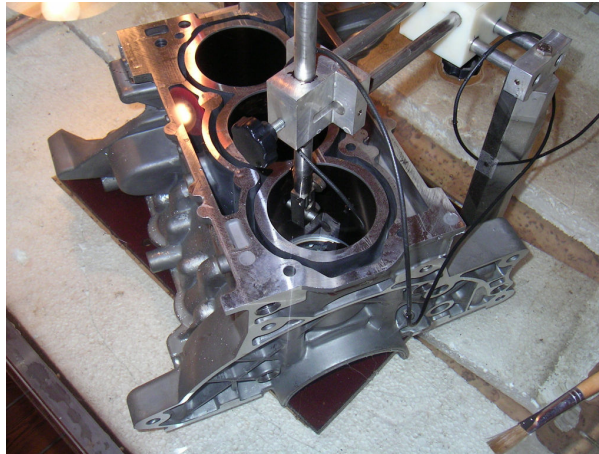
Název bloku	Označení vložek	Úprava vnějšího povrchu
Blok S	S - 1	Sériová vložka
	S - 2	Sériová vložka
	S - 3	Sériová vložka
Blok N	N - 1	Prekurzorová vložka
	N - 2	Prekurzorová vložka
	N - 3	Prekurzorová vložka
Blok C	C - 1	Sériová vložka + chemické mědění
	C - 2	Sériová vložka + odmaštění + aktivace + chemické mědění
	C - 3	Sériová vložka + chemické mědění
Blok F	F - 1	Sériová vložka + fosfátování
	F - 2	Sériová vložka + fosfátování
	F - 3	Sériová vložka + fosfátování
Blok O	O - 1	Sériová vložka + odmaštění
	O - 2	Sériová vložka + odmaštění + aktivace
	O - 3	Sériová vložka + odmaštění



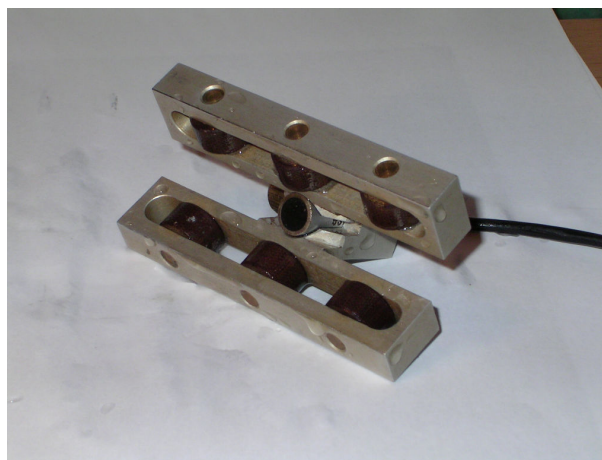
Takto připravené bloky motorů jsem převezl do firmy R&R NDT ing. Richarda Regazzo, CSc, kde jsem s jeho pomocí provedl vyhodnocení spoje mezi litinovou vložkou, přechodovou vrstvou a hliníkovým blokem.

#### **4.3.2 Hledání optimální ultrazvukové metody pro hodnocení**

Způsob měření: na podložku byl usazen testovaný blok motoru, UZ sonda vložena do vložky válce a spoj byl testován z vnitřního průměru vložky válce. Sonda byla zkoušejícím držena v ruce. Jako vazebný prostředek mezi sondou a povrchem vložky bylo použito plastické mazivo - kontaktní vazba. Experimentálně byly touto metodou odzkoušeny dva bloky, výsledky však byly nehodnotitelné, při opětovném měření sondou v již změřeném místě byly naměřeny výrazně rozdílné výsledky což bylo dáno nemožností udržet sondu striktně kolmo k povrchu testované vložky válců a ztrácením kontaktní vazby. Proto jsme tuto metodu modifikovali. Jako kontaktní prostředek jsme použili vodu - imerzní metoda. Blok jsme ponořili do akvária naplněného vodou. UZ sondou jsem ručně provedli měření. Ani toto měření nevedlo k získání recentních výsledků a tím nás utvrdilo v předpokladu, že problém tkví spíše ve špatně udržitelné kolmici sondy vůči vložce při manuálním měření. Proto jsme k fixaci sondy použili speciálního přípravku (obr. 4.34). Tato metoda výsledky značně zpřesnila, ale vzhledem, ke složité manipulaci a časové náročnosti k přestavení staticky uložené sondy jsme po zralé úvaze sondu připevnily do mobilního přípravku (vozíku) (obr. 4.35). Takto upravená metoda nám umožnila nejpreciznější měření, proto jsme s její pomocí vyhodnotili všechny bloky.



Obr. 4.34 Speciální přípravek XYZ pro držení UZ sondy



Obr. 4.35 Speciální mobilní přípravek (vozík) pro držení UZ sondy

### **4.3.3 Vyhodnocení spoje pomocí ultrazvukové metody**

#### **4.3.3.1 Vyhodnocení spoje pomocí UZ metody s kontaktní vazbou**

Ultrazvukový defektoskop: USM 35 Krautkrämer (příloha č. 3)

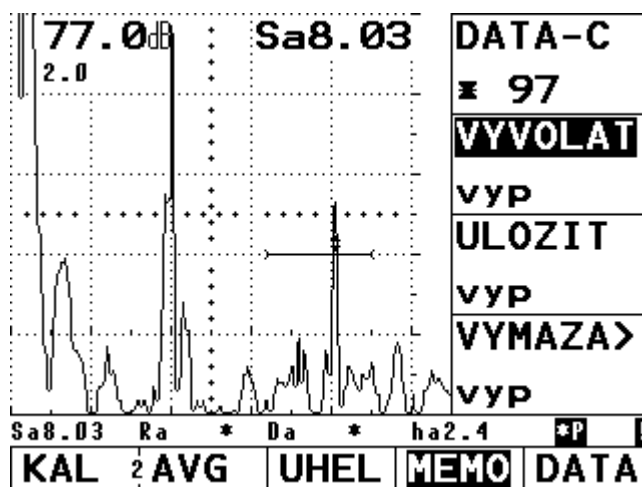
Ultrazvuková sonda pro zkoušení s kontaktní vazbou: CLF4 s  $\varnothing$  4 mm  
Krautkrämer.

Metoda: zkoušky byly provedeny z vnitřního povrchu vložek.

Vazební prostředek pro kontaktní vazbu - plastické mazivo.

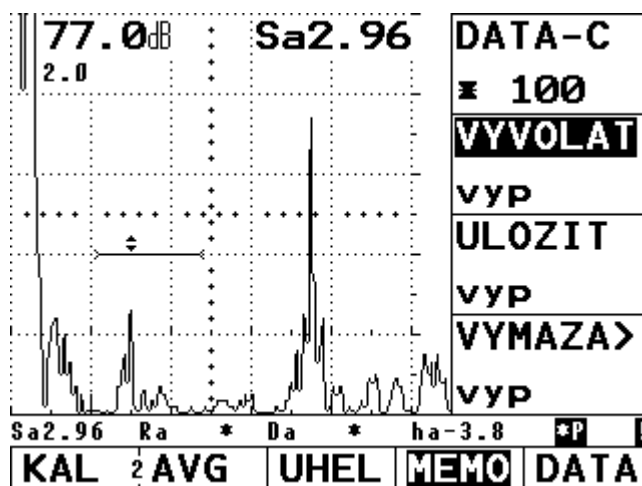
## Výsledky UZ zkoušky s kontaktní vazbou:

Vložka s hladkým vnějším povrchem (prekurzor) - nezalitá

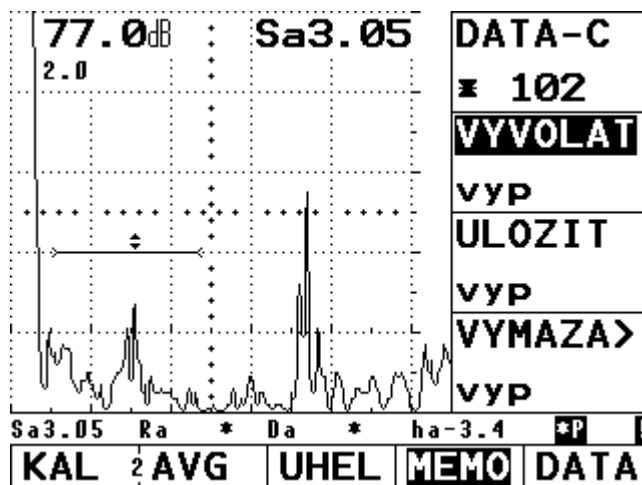


Obr. 4.36 nezalitá vložka, 100% nespojení, použito jako referenční měření

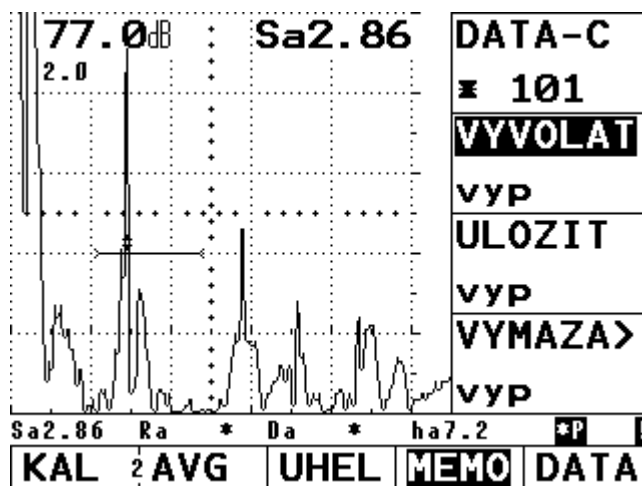
Vložka s hladkým vnějším povrchem (prekurzor) - zalitá



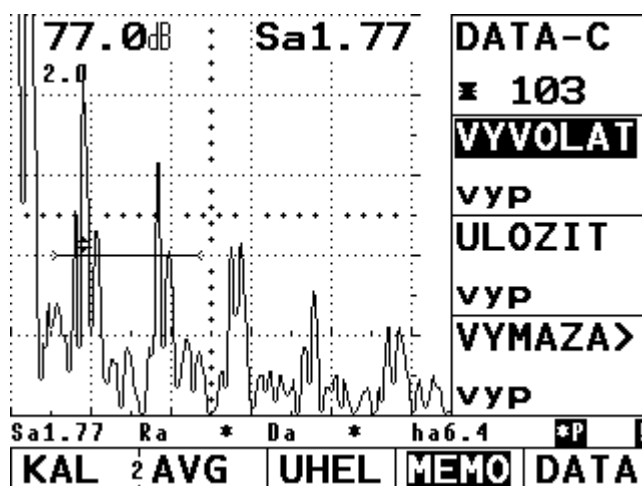
Obr. 4.37 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní způsobené rozdílem akustických vlnových odporů litiny a hliníkové slitiny, vložka N - 1; cca 40 mm shora



Obr. 4.38 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka N - 1; cca 40 mm shora

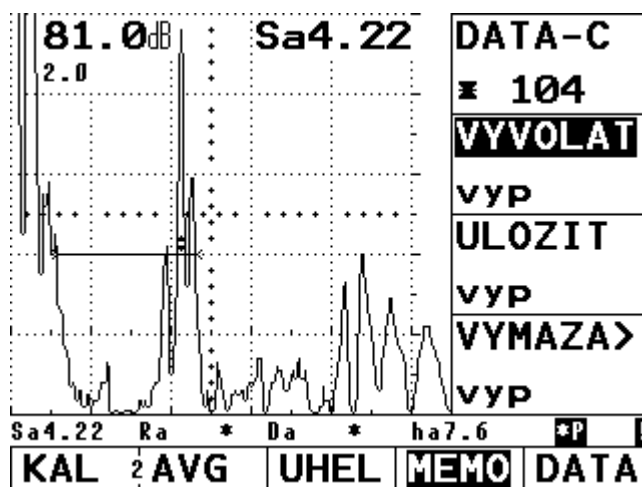


Obr. 4.39 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je velké echo od rozhraní, vložka N - 1; cca 40 mm shora



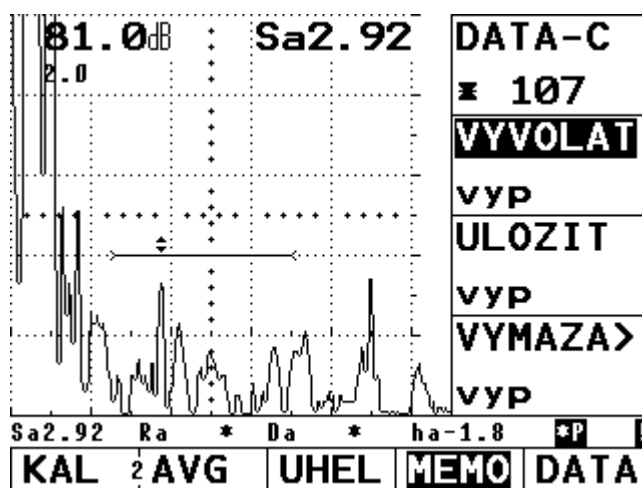
Obr. 4.40 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je velké echo od rozhraní, vložka N - 1; cca 40 mm shora

## Vložka sériová - nezalitá

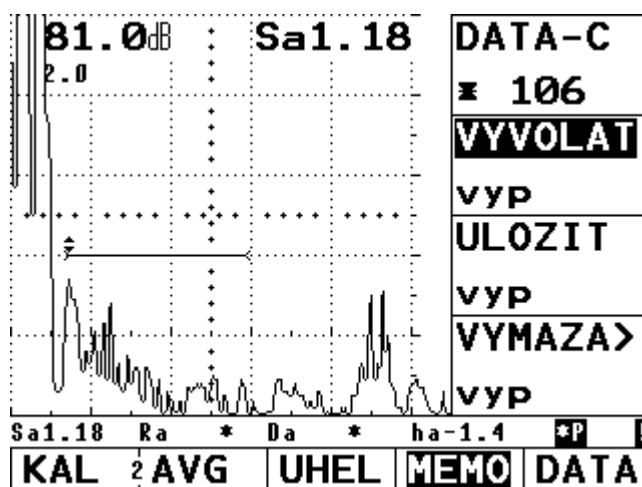


Obr. 4.41 nezalitá vložka, 100% nespojení, použito jako referenční měření

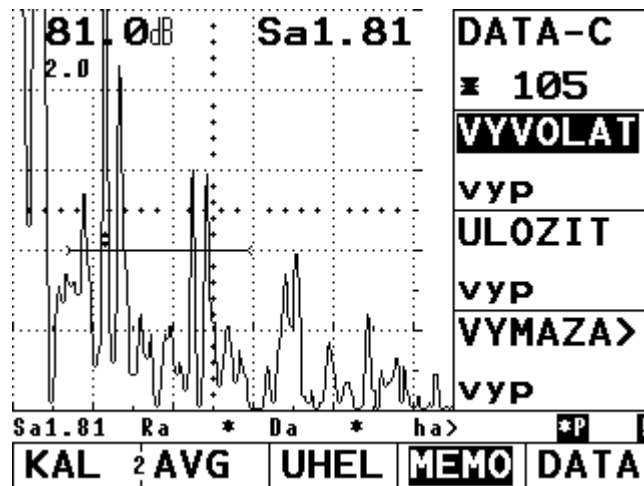
## Vložka sériová - zalitá



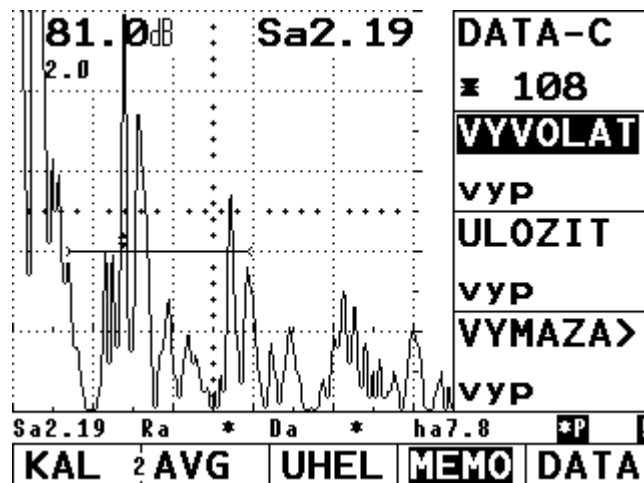
Obr. 4.42 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka C - 2



Obr. 4.43 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka C - 2



Obr. 4.44 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je velké echo od rozhraní, vložka C - 2



Obr. 4.45 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je velké echo od rozhraní, vložka C - 2

### Dílčí hodnocení:

Měření s kontaktní vazbou není optimální, těžko reprodukovatelné, průběh závisí na natočení sondy a přítlaku. Nevhodná metoda - malá přesnost a malá shoda opakovaných měření. Sonda s kontaktní plochou bez přizpůsobení vnitřnímu povrchu vložky není použitelná.

#### 4.3.3.2 Vyhodnocení spoje pomocí UZ imerzní metody

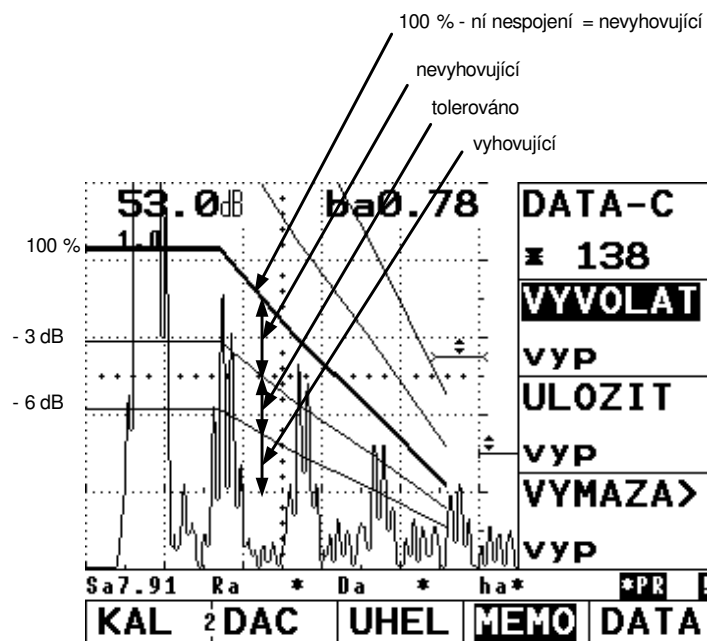
Ultrazvukový defektoskop: USM 35 Krautkrämer

Ultrazvukové sondy pro mechanizované zkoušení:

- 1) přípravkem XYZ s imerzní vazbou - H5M Krautkrämer
- 2) vozíkem s imerzní vazbou L5M Krautkrämer

Metoda: zkoušky byly provedeny z vnitřního povrchu vložek

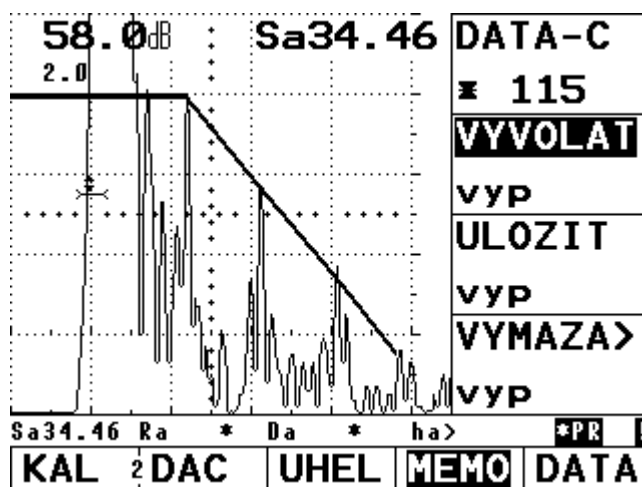
Vazební prostředek pro imerzní vazbu - voda



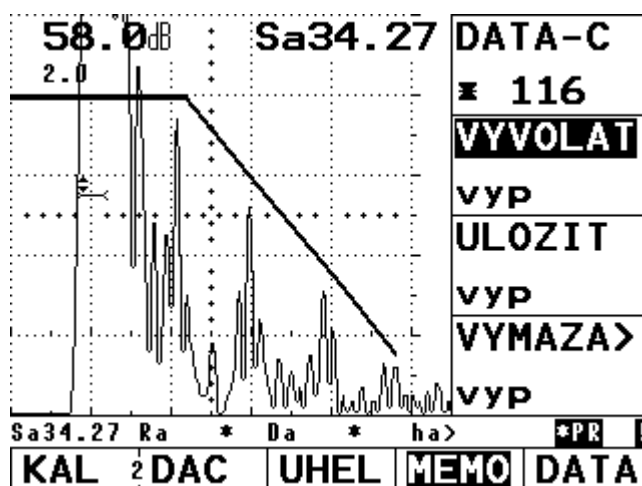
Obr. 4.46 Zvolené hodnocení: vyhovující - tolerováno - nevyhovující, praxe a destruktivní ověření spojené s ultrazvukovým měřením prokáží, zda je zvolené hodnocení správné, nebo zda se tolerované změnilo na vyhovující, či nevyhovující

# 1) Výsledky UZ zkoušky s imerzní vazbou s použitím přípravku XYZ :

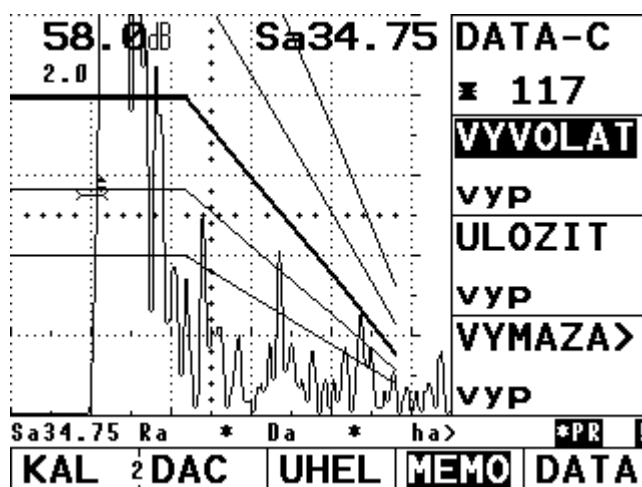
Vložka sériová



Obr. 4.47 nezalitá vložka, 100% nespojení, použito jako referenční měření

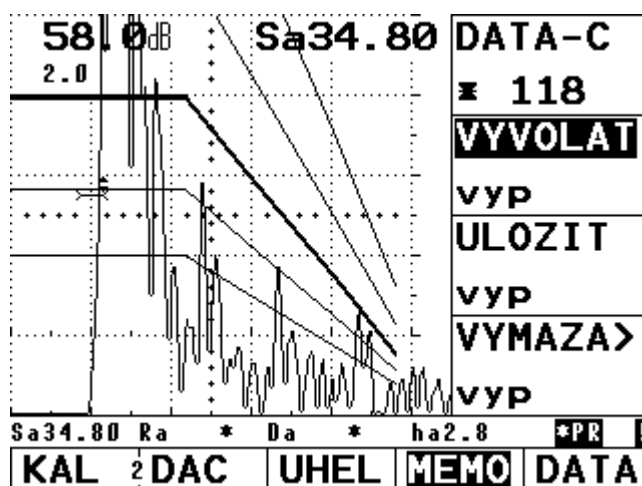


Obr. 4.48 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je velké echo od rozhraní, vložka S - 2

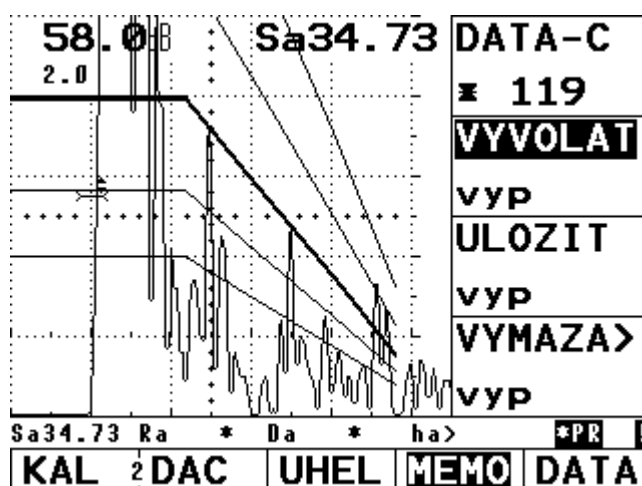


Obr. 4.49 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je velké echo od rozhraní, vložka S - 1





Obr. 4.50 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je velké echo od rozhraní, vložka F - 3



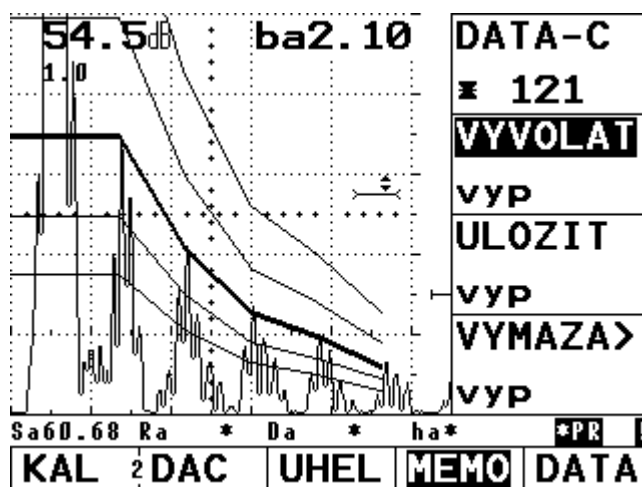
Obr. 4.51 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je vysoké echo od rozhraní, vložka F - 3

### Dílčí hodnocení:

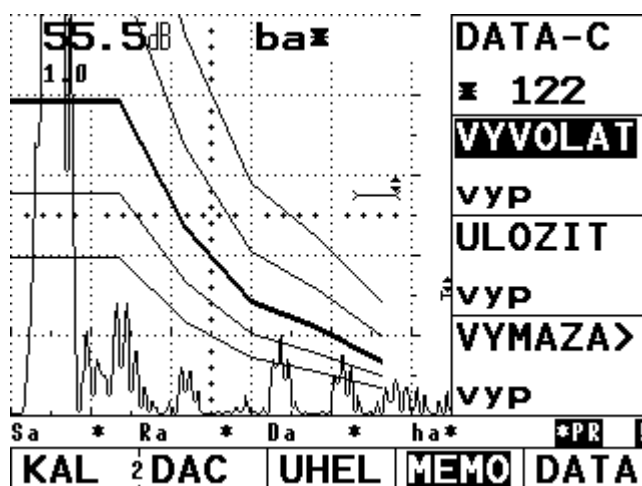
Výsledky zkoušky s imerzní vazbou s použitím přípravku XYZ a sondou H5M není optimální, těžko reprodukovatelné, průběh závisí na kolmosti sondy k vnitřnímu povrchu. Nevhodná metoda - malá shoda opakovaných měření. Nevhodný přípravek - mnoho stupňů volnosti a malá tuhost přípravku.

## 2) Výsledky UZ zkoušky s imerzní vazbou s použitím mech. vozíku:

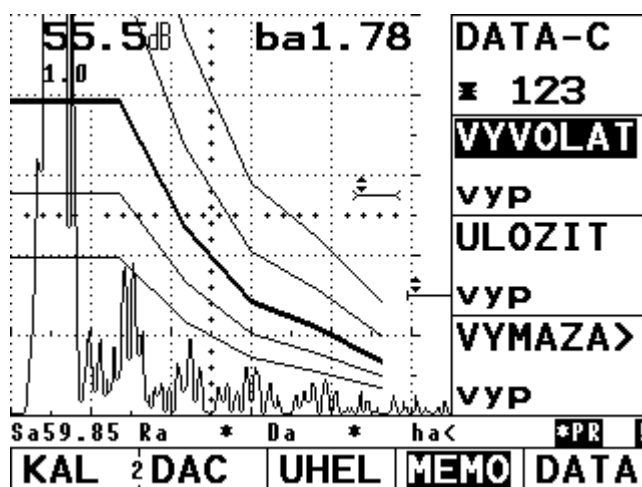
Vložka sériová



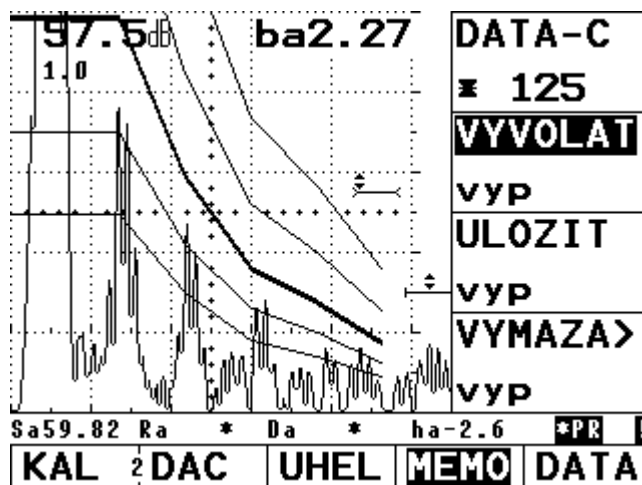
Obr. 4.52 nezalitá vložka, 100% nespojení, použito jako referenční měření



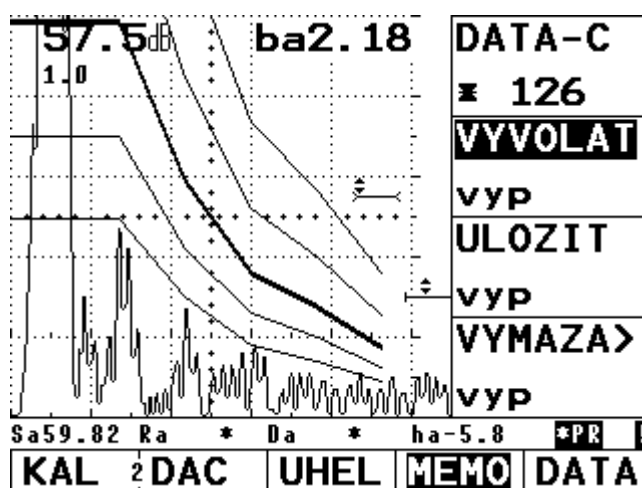
Obr. 4.53 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka S - 1; 60 mm shora



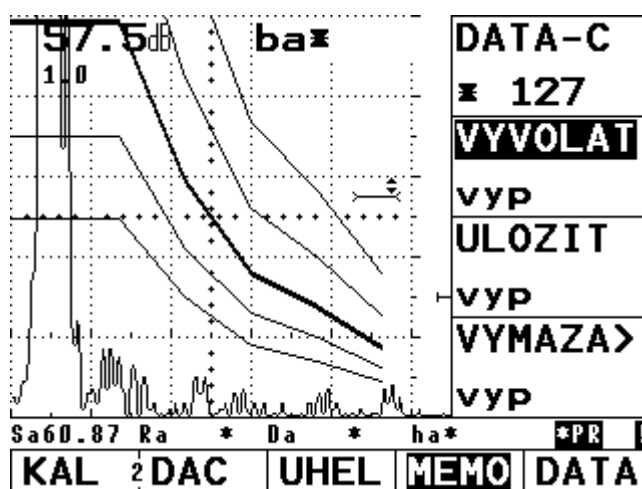
Obr. 4.54 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka S - 1; 85 mm shora



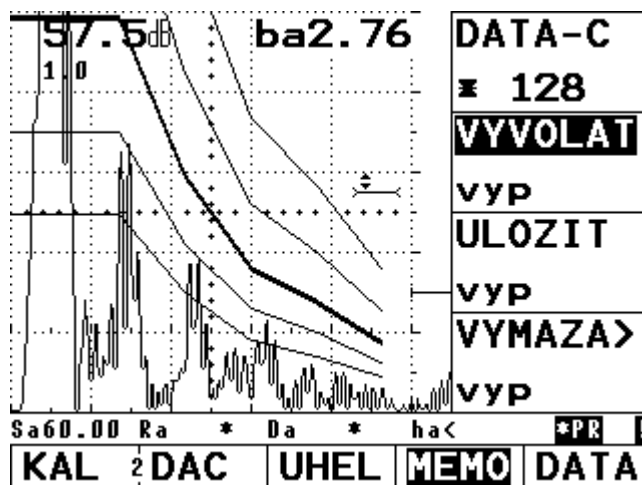
Obr. 4.55 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je velké echo od rozhraní, vložka O - 1; 40mm shora



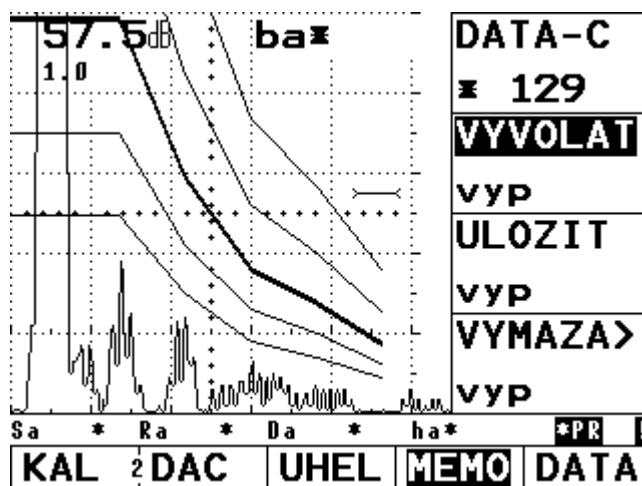
Obr. 4.56 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka F - 1; 40 mm shora



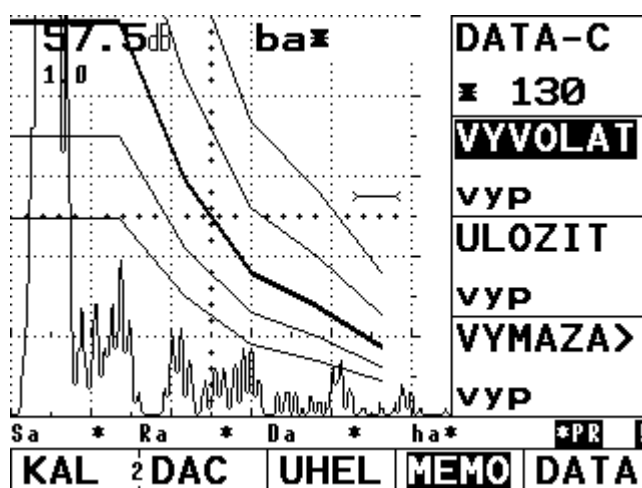
Obr. 4.57 oblast velmi dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka F - 2; 40 mm shora



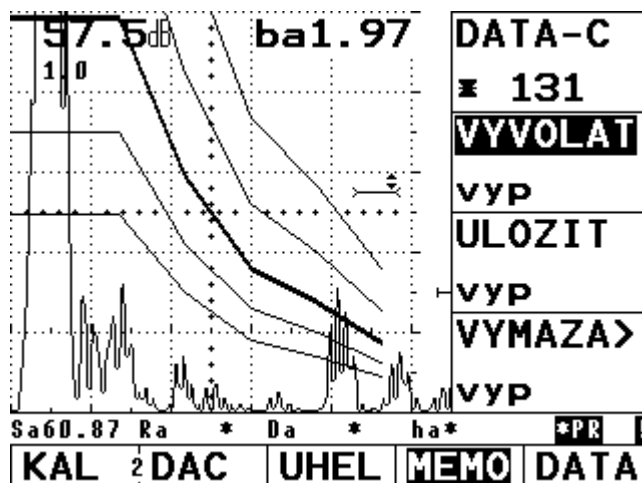
Obr. 4.58 oblast tolerovatelného spojení (zalití), na obrázku je velké echo od rozhraní, vložka F - 3; 20 mm shora



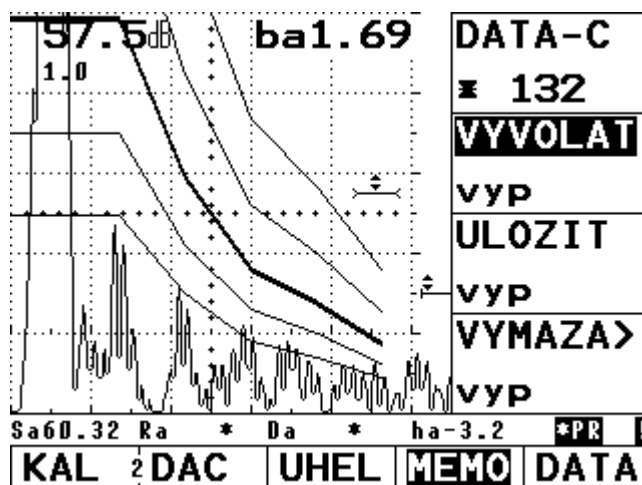
Obr. 4.59 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka F - 3; 40 mm shora



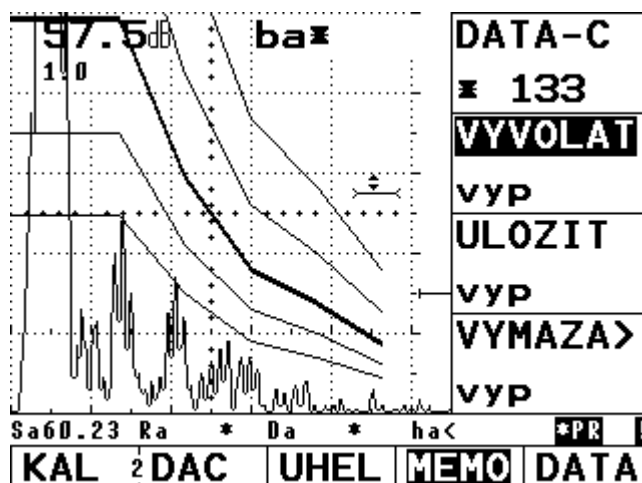
Obr. 4.60 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka F - 3; 85 mm shora



Obr. 4.61 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka C - 2; 85 mm shora

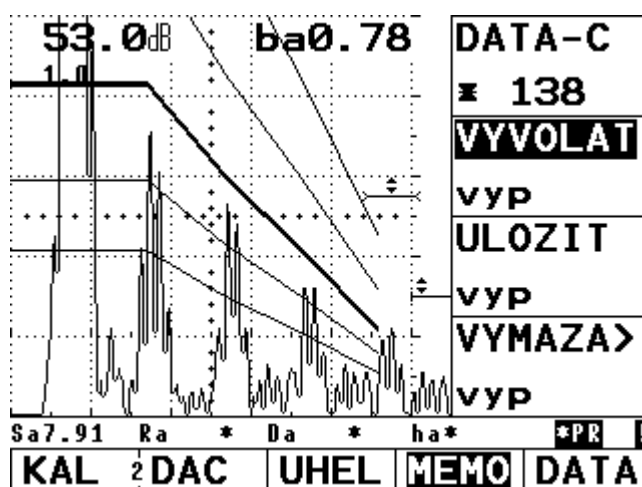


Obr. 4.62 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka C - 1; 85 mm shora



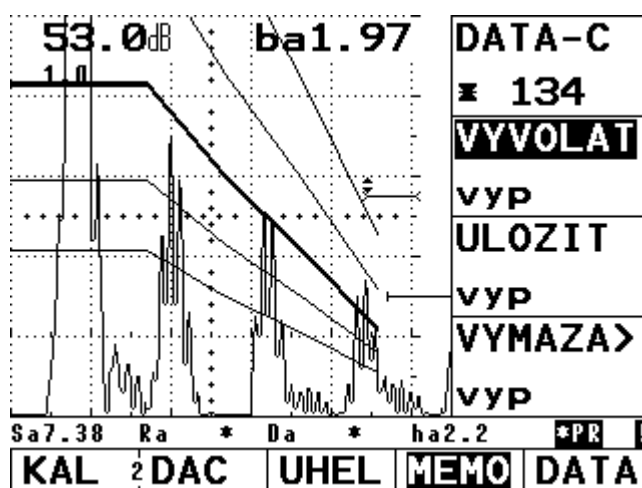
Obr. 4.63 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka C - 3; 85 mm shora

### Vložka s hladkým vnějším povrchem (prekurzor) - nezalitá

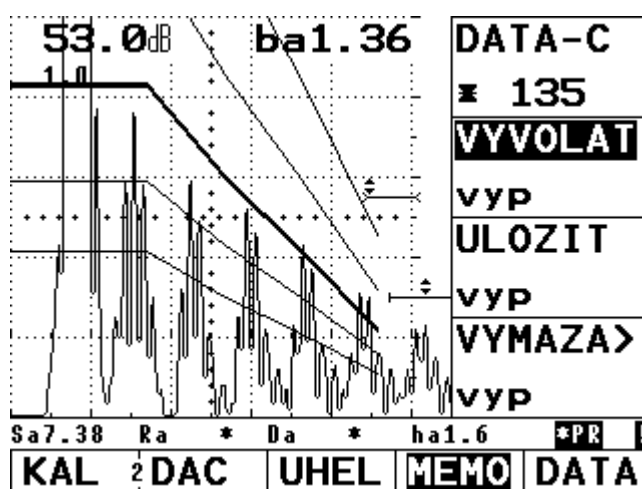


Obr. 4.64 nezalitá hladká vložka, vnější povrch chráněn proti vodě formelou, tato ochrana není 100 % - ní a tak je průběh ech 1 dB pod silnou DAC křivkou, která představuje 100 % - ní nespojení

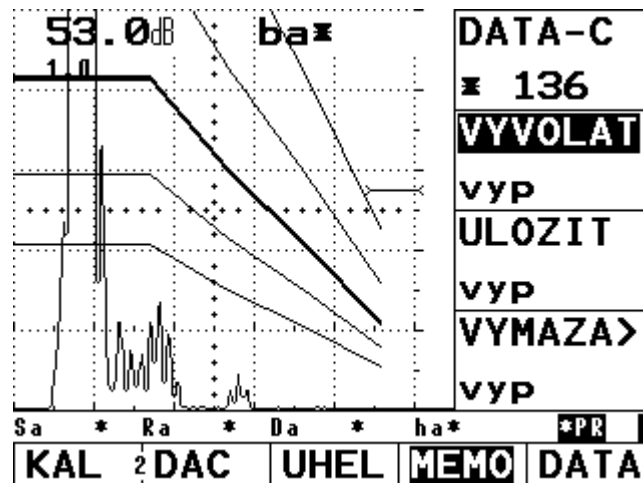
### Vložka s hladkým vnějším povrchem (prekurzor) - zalitá



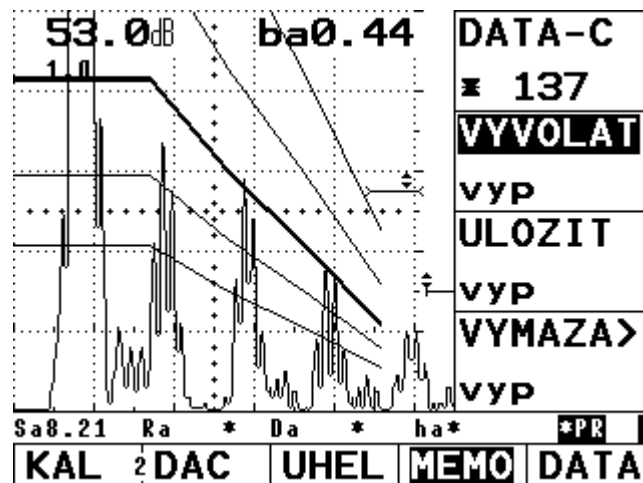
Obr. 4.65 oblast špatného spojení (zalití), na obr. je vysoké echo od rozhraní, vložka N - 3; 40 mm shora



Obr. 4.66 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je vysoké echo od rozhraní, vložka N - 3; 85 mm shora



Obr. 4.67 oblast dobrého spojení (zalití), na obrázku je malé echo od rozhraní, vložka N - 1; 50 mm shora



Obr. 4.68 oblast špatného spojení (zalití), na obrázku je vysoké echo od rozhraní, vložka N - 1; 60 mm shora

### Dílčí hodnocení:

Výsledky zkoušky s imerzní vazbou s použitím mechanizovaného vozíku a ultrazvukové sondy L5M je optimální, výborně reprodukovatelné, kolmost sondy k vnitřnímu povrchu je stále dodržována. Vhodná metoda - výborná shoda opakovaných měření. Vzhledem ke skutečnosti, že sonda snímá pouze plochu o průměru 4 mm, zobrazit celou plochu spoje, proto jsem vybral pouze několik instruktivních a komparabilních obrázků. Zobrazení celého povrchu všech vložek není touto metodou technicky možné (ani zpracování by nebylo v možnostech BP).

## **5 Závěr**

### **5.1 Vyhodnocení výsledků experimentů**

Cílem mé BP bylo zkoumat prostřednictvím experimentálního testování vliv povrchových úprav vložek válců na soudržnost s blokem motoru. Zvolil jsem několik možností povrchových úprav. Experiment jsem rozdělil do dvou částí, první byla provedena na povrchově upravených vzorcích a druhá byla provedena na upravených vložkách válců v blocích motorů.

V první části experimentu jsem zvolil následující povrchové úpravy na vzorcích z GJL - chemické a galvanické pokovení, leštění a fosfátování. Po zalití těchto vzorků byly u některých zhotoveny metalografické výbrusy a u zbývajících byla provedena zkouška tlakem. U metalografických výbrusů jsem hodnotil difúzi mezi GJL vzorkem a Al slitinou. Difúze dle metalografických výbrusů s největší pravděpodobností neproběhla u většiny zkušebních vzorků, pouze u fosfátovaného vzorku jistý stupeň difúze proběhl. U neleštěného galvanicky pozinkovaného vzorku a u leštěného galvanicky niklovaného vzorku nelze jistý stupeň difúze vyloučit. Výsledky tlakové zkoušky ukázaly ve vztahu k neleštěným vzorkům bez další povrchové úpravy (pro experiment referenční) následující: vzorky poniklované a chemicky měděné dosáhly srovnatelných hodnot jako referenční, vzorky galvanicky měděné dosáhly signifikantně nižších hodnot tlaků. Oproti referenčním vzorkům dosáhly vyšších hodnot tlaků vzorky niklované a vzorky fosfátované. Výsledky lze těžko jednoznačně reprodukovat z důvodu značného rozptylu hodnot naměřených tlaků v jednotlivých skupinách. To lze zdůvodnit nestejnými podmínkami při povrchových úpravách jednotlivých vzorků - ty byly prováděny v laboratoři, ale nelze jednoznačně říci, že za absolutně stejných laboratorních podmínek. Dále vlastní gravitační zalévání vzorků bylo prováděno ručně (tlakové nebylo možno vzhledem k atypičnosti vzorků použít), což nemůže zaručit stejnou teplotu a hustotu Al slitiny kolem vzorků.



V druhé části experimentu jsem vybrané odzkoušené a technicky dostupné povrchové úpravy aplikoval na sériově vyráběné vložky válců, dále jsem použil prekurzory vložek válců a nechal je zalít do standardního bloku motoru Škoda 1.2. Jako úpravy jsem zvolil odmaštění, chemické mědění, fosfátování a pro srovnání jsem použil ještě vložky válců bez povrchového závitu (prekurzory). Výsledky UZ zkoušky ukázaly v porovnání s referenčním nálezem (UZ nález u sériově vyráběné vložky válců) lepší nálezy u vložek válců upravených fosfátováním, u chemicky mēděných vložek válců byly nálezy ještě v oblasti tolerovatelného nálezu, avšak mírně horší než referenční. Prekurzory a vložky válců upravené pouze odmaštěním vykazovaly nálezy signifikantně horší. I výsledky této části experimentu lze reprodukovat jako recentní jen částečně. Do značné míry jsou zkresleny tím, že měření zachytí vždy jen malou část povrchu vložky válců a nelze ji tedy reprodukovat jako vyjádření skutečného stavu celé vložky válců zalité v bloku motoru. Detailní změření stavu celého povrchu styčné plochy s použitím mně dostupných sond nebylo možné. Toto vyžaduje speciální UZ sondy. Na druhou stranu při této části experimentu byla většina povrchových úprav prováděna za standardních podmínek na strojním zařízení ve Škoda Auto a.s., proto lze předpokládat, že při použití těchto metod sériově, by výsledné produkty byly ve srovnatelné kvalitě.

## 5.2 Doporučení

Jak vyplývá z teoretické části jeví se nadějnou pro další studium oblast hybridních vložek a z obou částí experimentální práce se jeví jako nadějně pro další studium oblast třech povrchových úprav a to chemického mědění, zinkování a fosfátování - které mělo v obou experimentálních částech nejlepší výsledky. Přímá aplikovatelnost výsledků je omezena nedostatečným experimentálním ověřením těchto skutečností, pro lepší možnost hodnocení a rychlejší aplikovatelnost je třeba tyto povrchové úpravy dělat přímo na vložkách

válců a blocích motoru a za přísně standardizovaných laboratorních podmínek. Dále je nutno počítat se zvýšením ekonomické zátěže výroby, tzn. provést detailní ekonomický rozbor nákladů, zisků a benefitů těchto úprav. Samozřejmostí je nutnost zajistit ekologičnost provozu galvanických a fosfátovacích linek.

Při dalším zkoumání povrchů vložek by bylo velmi vhodné zajistit UZ sondy schopné monitorovat mnohem větší povrchy vložek válců (pokud možno celých povrchů) pro lepší hodnocení soudržnosti celé vložky válců v bloku motoru.

## 6 Seznam použité literatury:

- [1] <http://skoda.panda.cz>, 2007
- [2] Adamec, M.: ústní předání, červen 2007
- [3] Interní materiály firmy Škoda Auto, září 2007
- [4] Michna, Š., a kol.: Encyklopedie hliníku. Adin s.r.o., Prešov 2005
- [5] <http://www.federalmogul.com>, 2007
- [6] Vojtěch, D.: Kovové materiály. VŠCHT, Praha 2006
- [7] Ptáček, L. et al.: Nauka o materiálu II., CERM s.r.o., Brno 2002
- [8] Skálová, J.: Nauka o materiálech. ZCU, Plzeň 2000
- [9] Ptáček, L. et al.: Nauka o materiálu I., CERM s.r.o., Brno 2003
- [10] Čipera, J., a kol.: Seminář a cv. z chemie pro IV. r. gymnázií, SPN, Praha 1987
- [11] <http://www.fp.tul.cz/exnar/fs>, 2007
- [12] Chvojka, J.: Zpracování a použití hliníku a jeho sloučenin, SNTL, Praha 1961
- [13] Kolektiv autorů: Matematické, fyzikální a chemické tabulky, Prometheus, Praha 1995
- [14] Sedláček, V.: Neželezné kovy a slitiny. SNTL, Praha 1979
- [15] Greenwood, N. N.: Chemie prvků I. + II. díl, Informatorium, Praha 1993
- [16] <http://ime.fme.vutbr.cz>, 2007
- [17] Sedláček, V.: Povrchy a povlaky kovů, ČVUT, Praha 1992
- [18] <http://www.tlakinfo.cz>, 2007
- [19] <http://www.vscht.cz>, 2007

## **7 Seznam příloh**

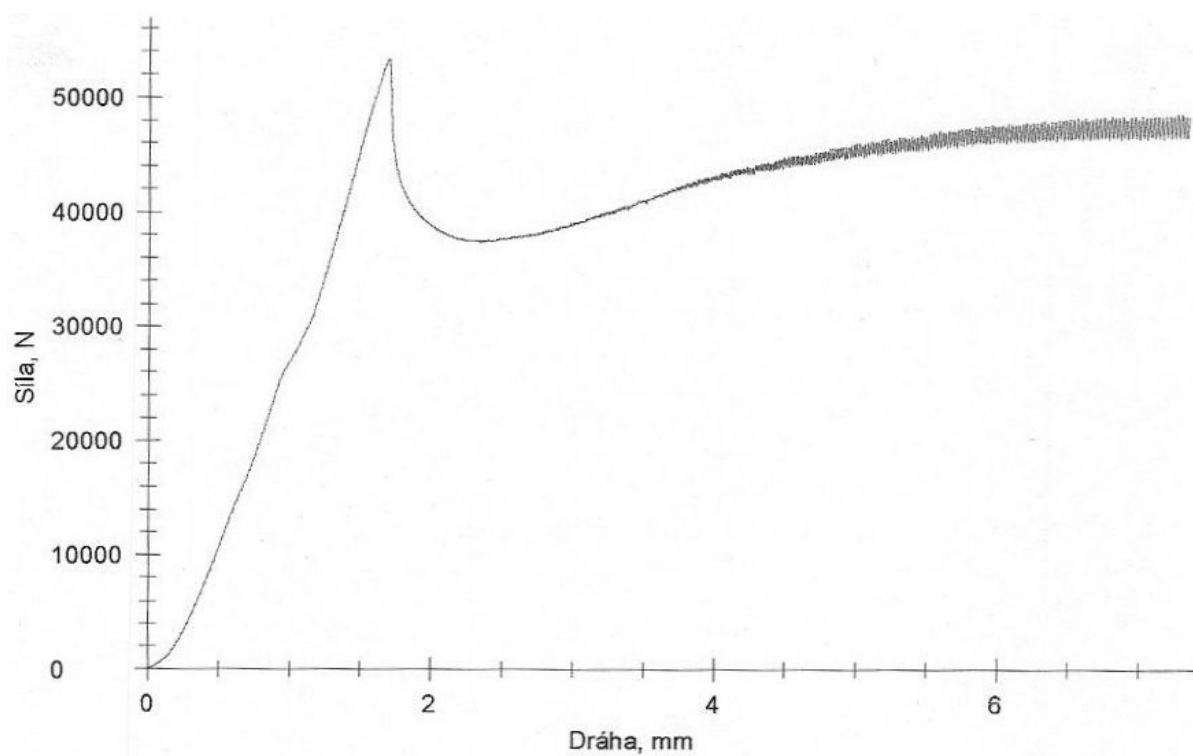
**Příloha č. 1** - Grafy průběhů tlakových zkoušek

**Příloha č. 2** - Obrázky metalografických výbrusů

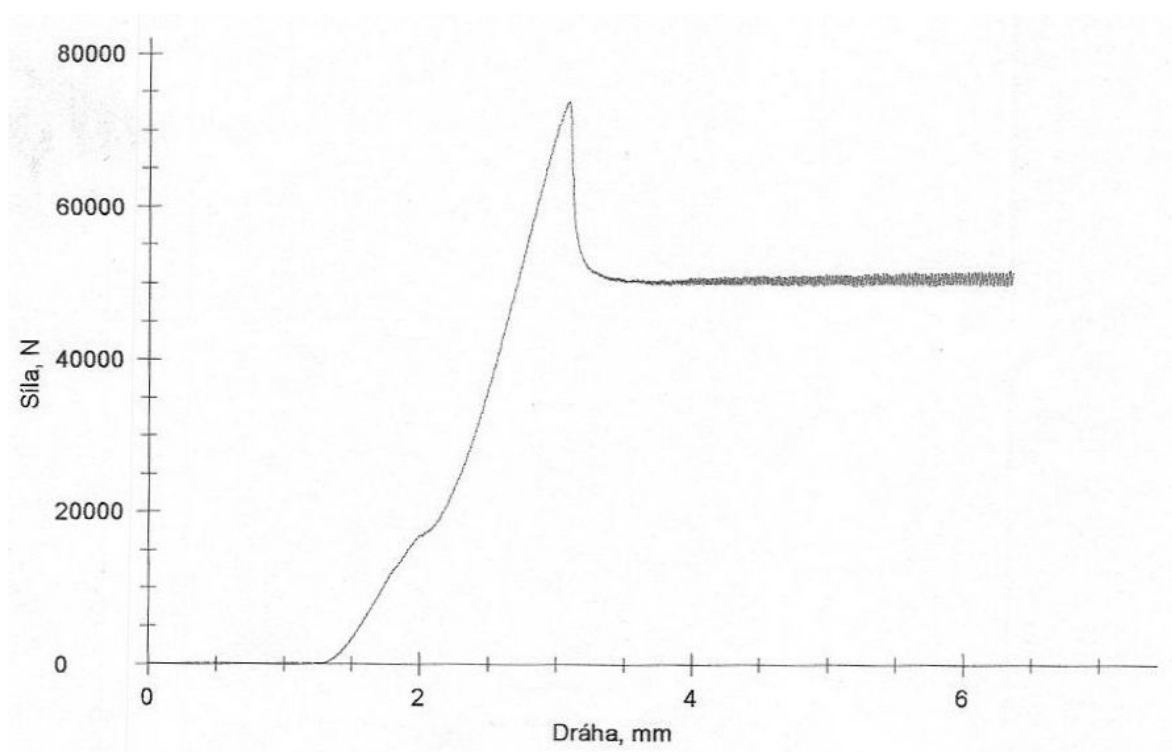
**Příloha č. 3** - Obrázek - Ultrazvukový defektoskop: USM 35 Krautkrämer

# **Přílohy**

**Příloha č.1**

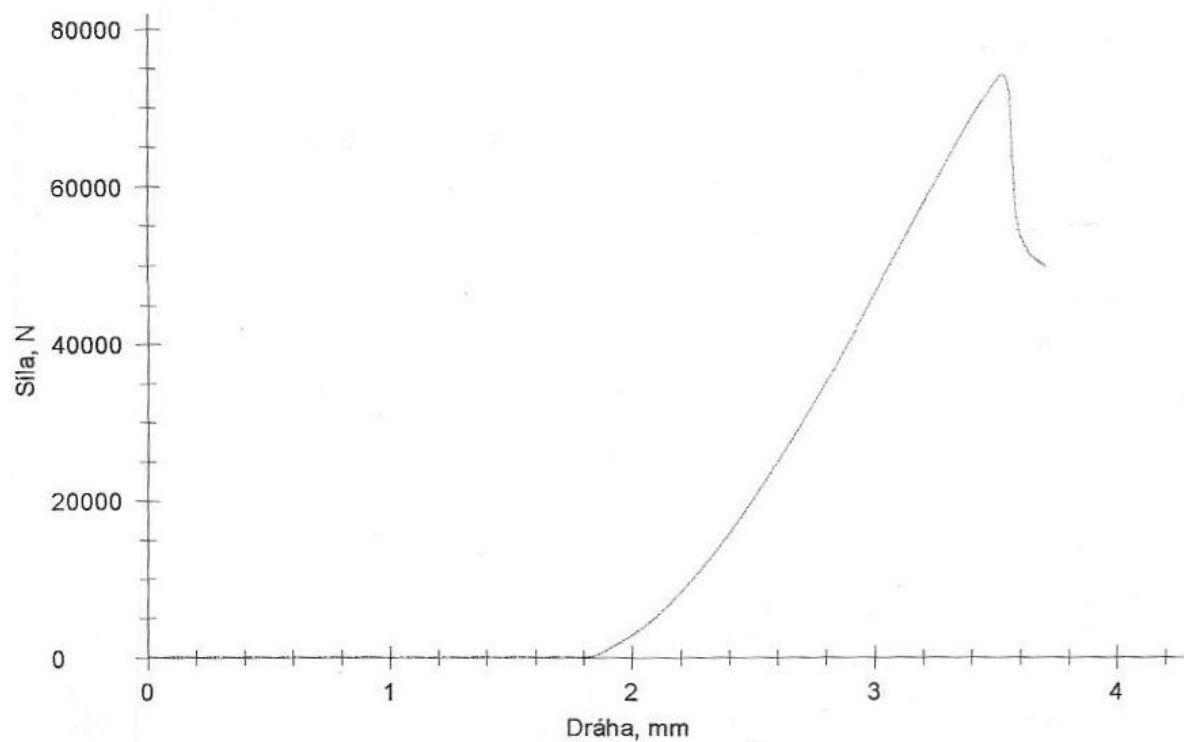


**Graf 4.1**

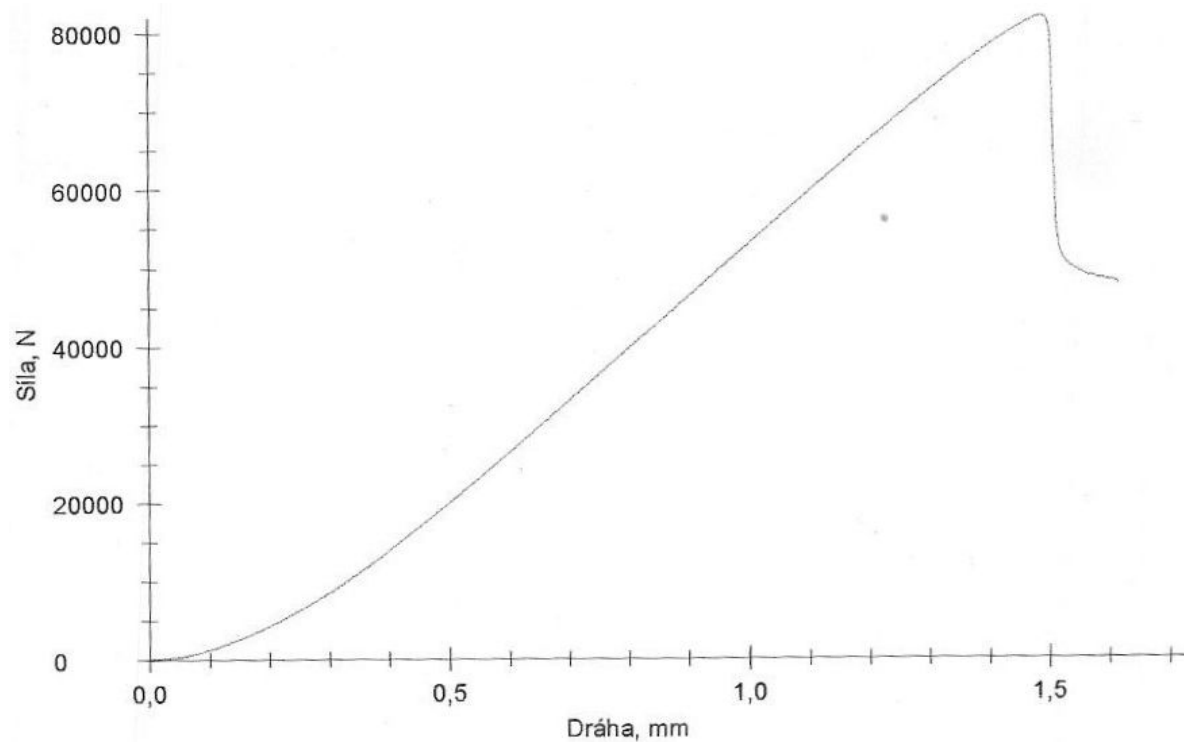


**Graf 4.2**

**Příloha č.1**

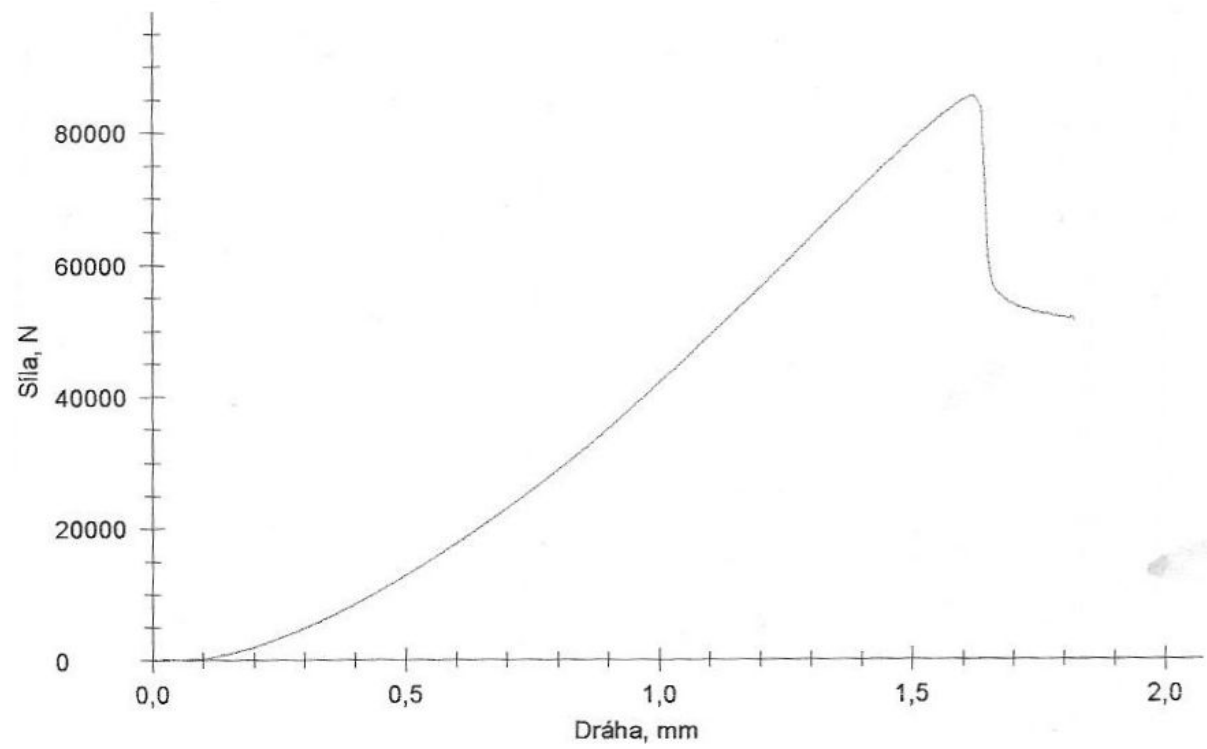


**Graf 4.3**

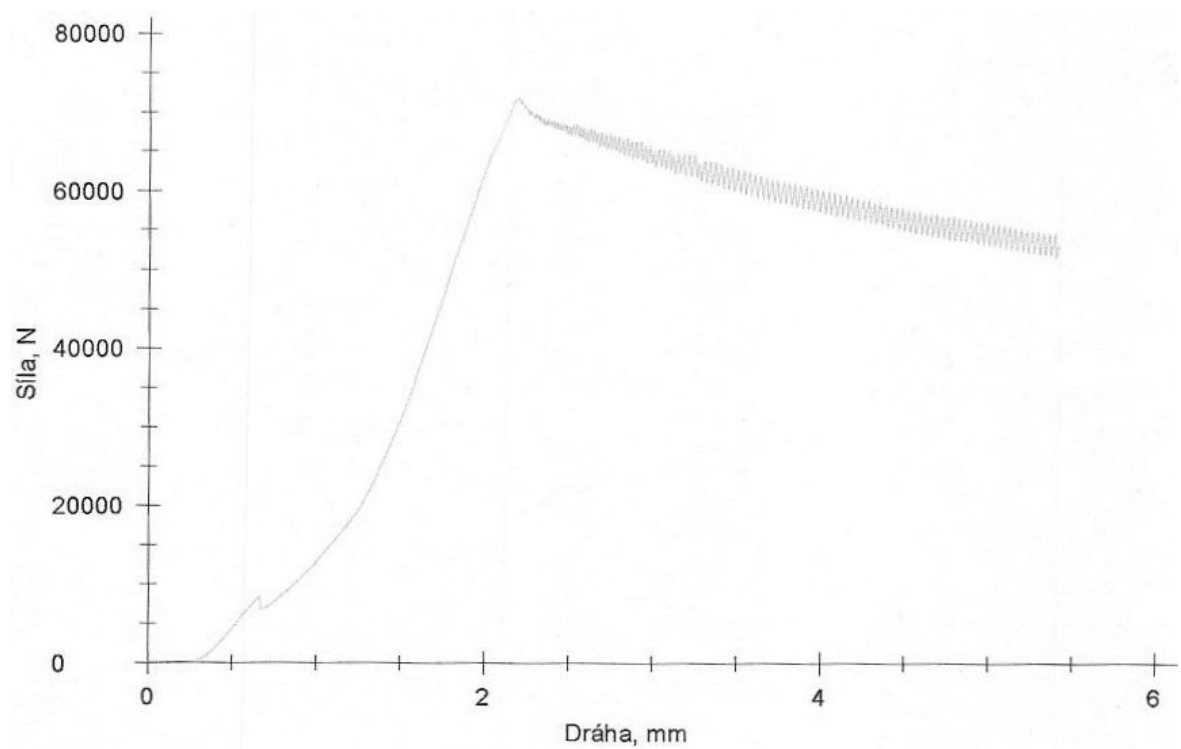


**Graf 4.4**

**Příloha č.1**

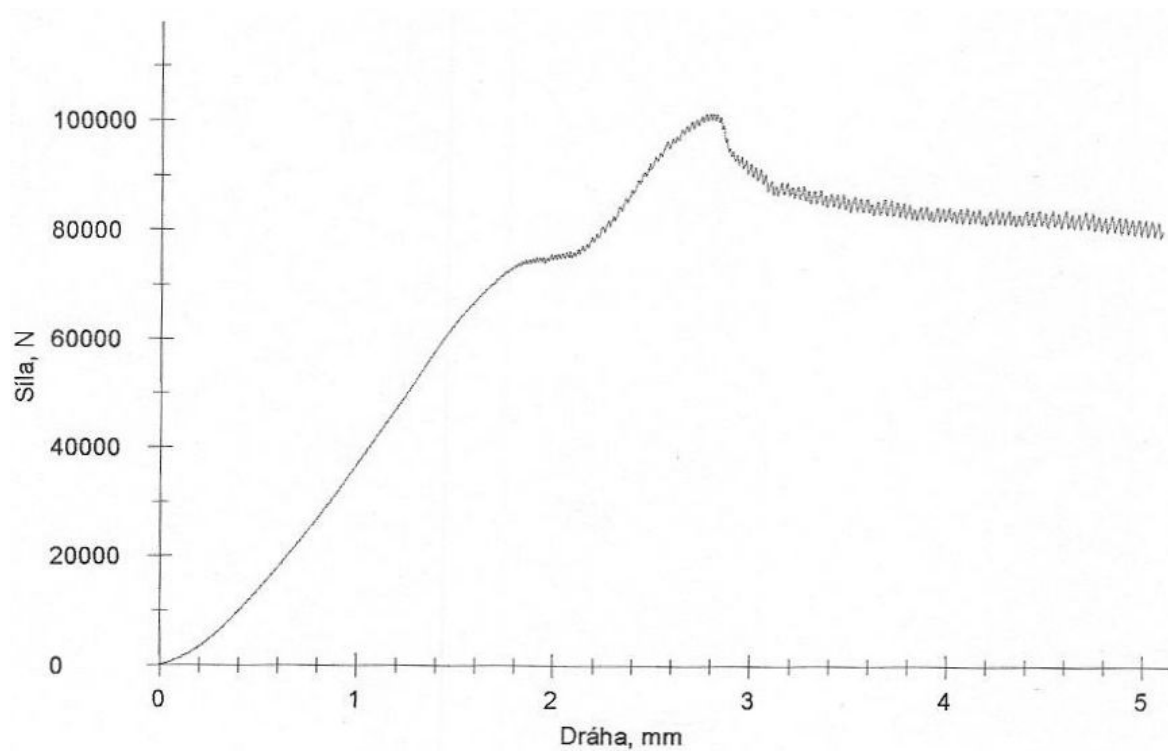


**Graf 4.5**

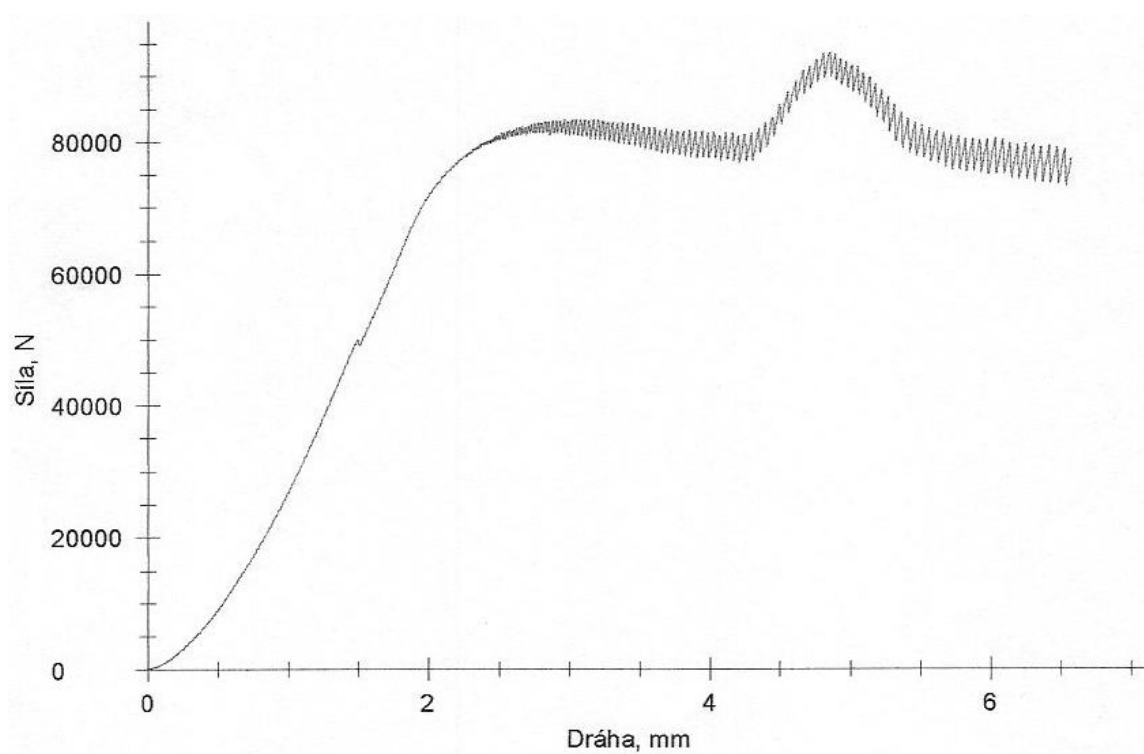


**Graf 4.6**



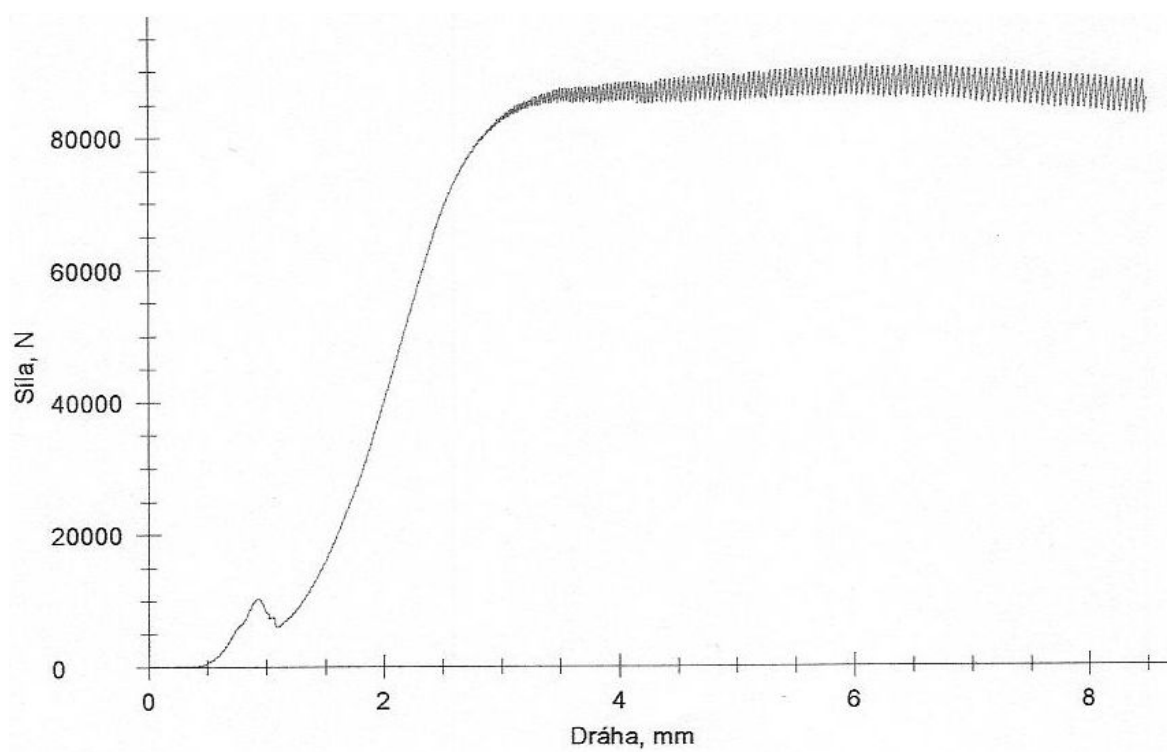


Graf 4.7

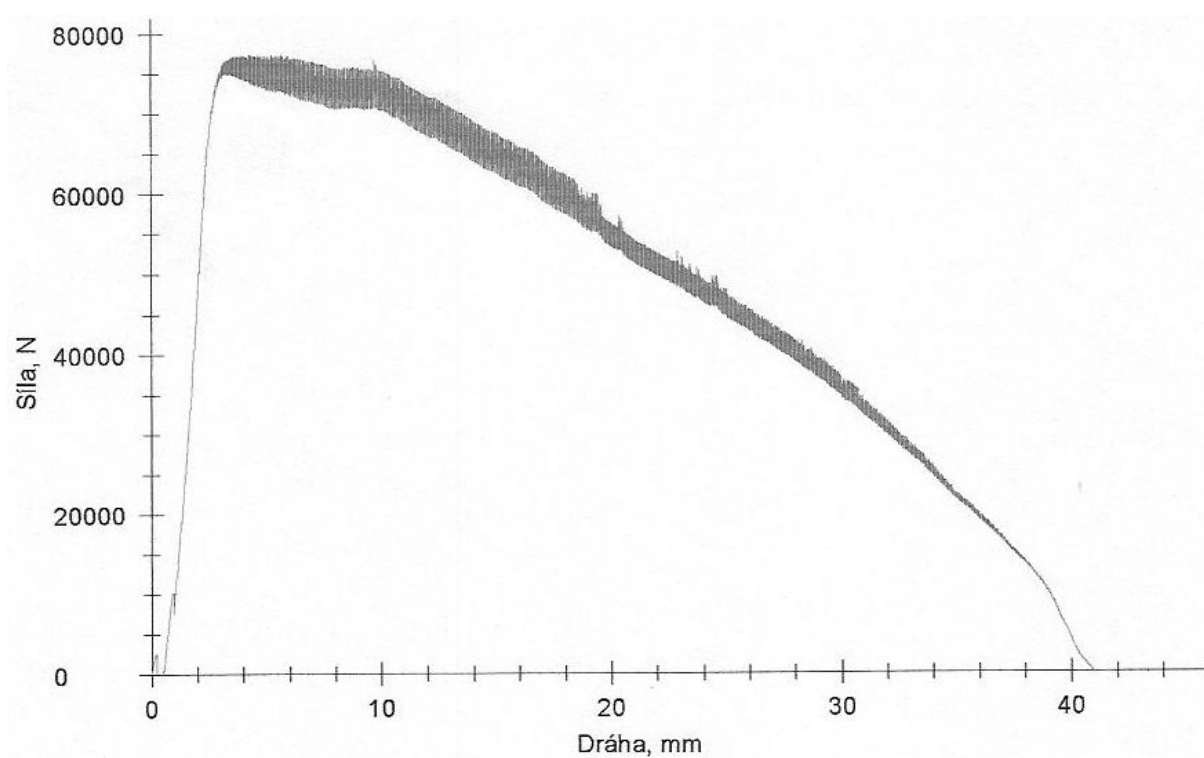


Graf 4.8

**Příloha č.1**

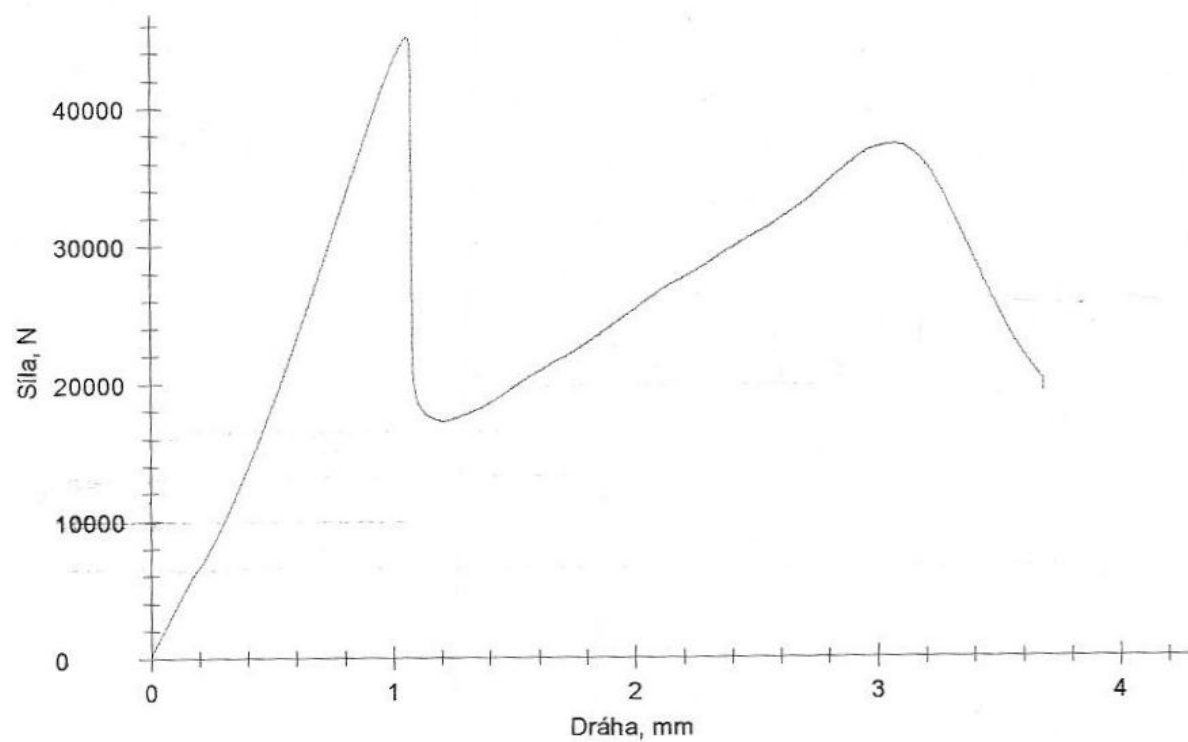


**Graf 4.9**

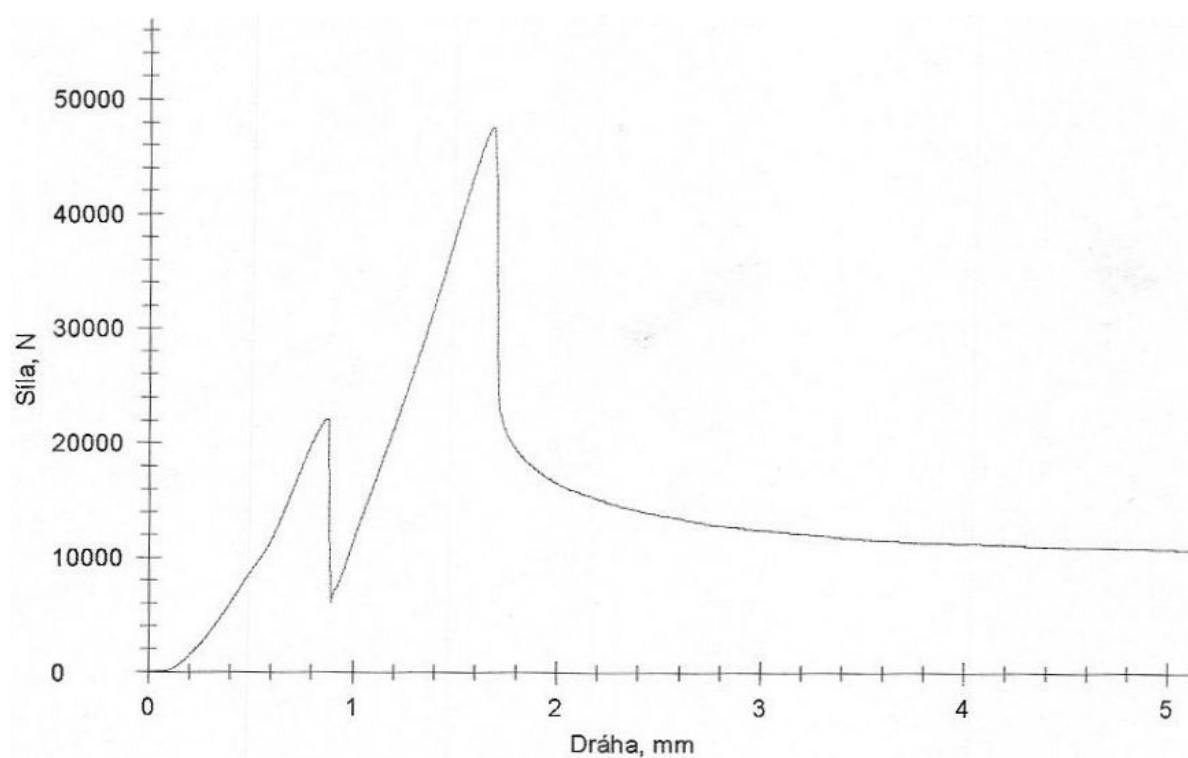


**Graf 4.10**

**Příloha č.1**

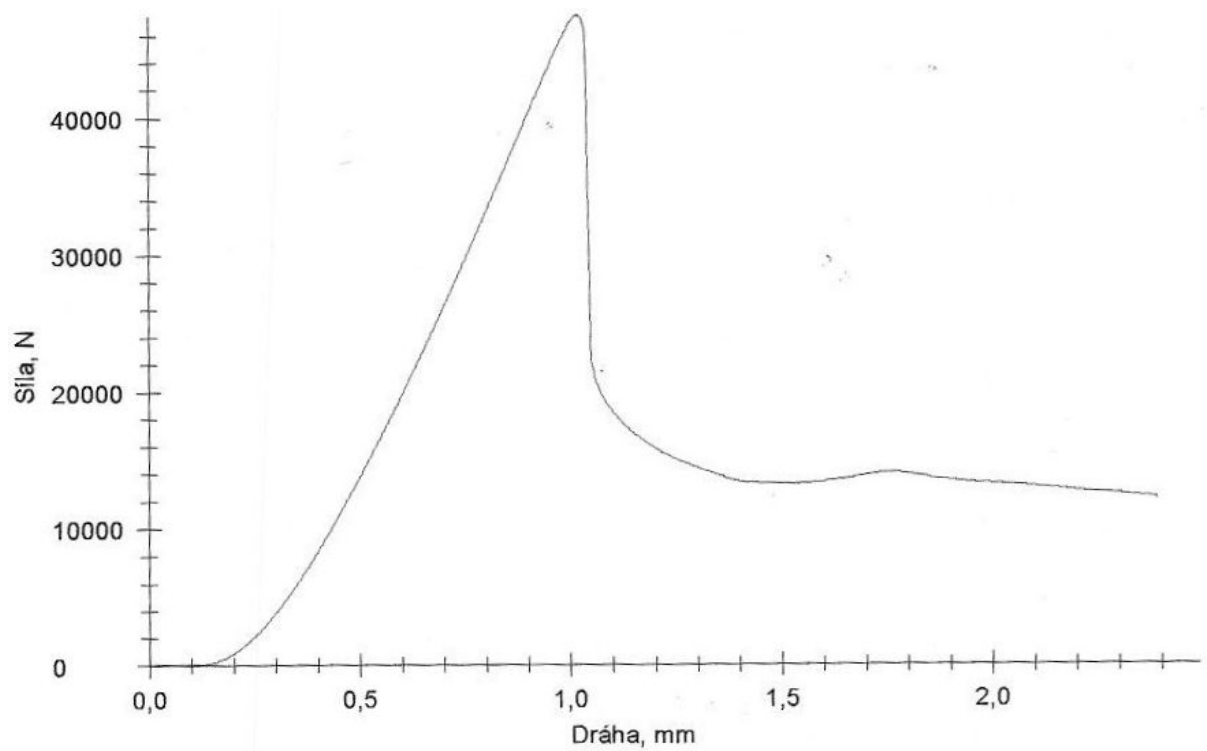


**Graf 4.11**

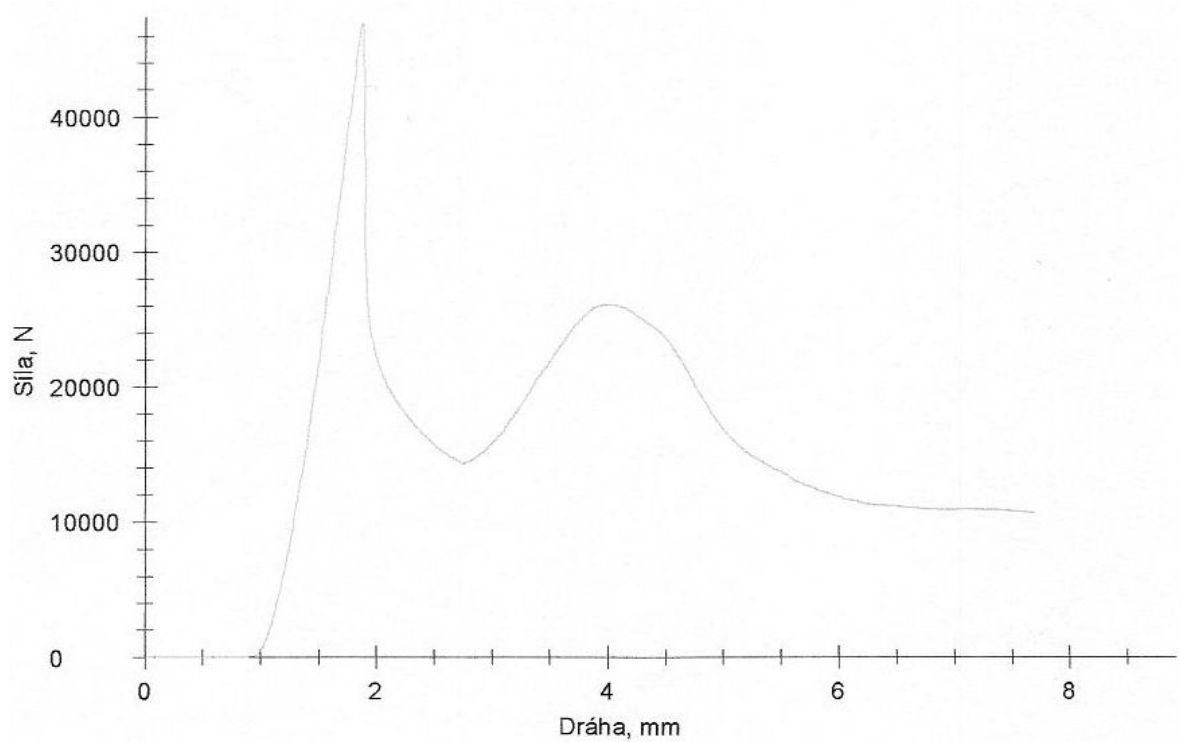


**Graf 4.12**

**Příloha č.1**

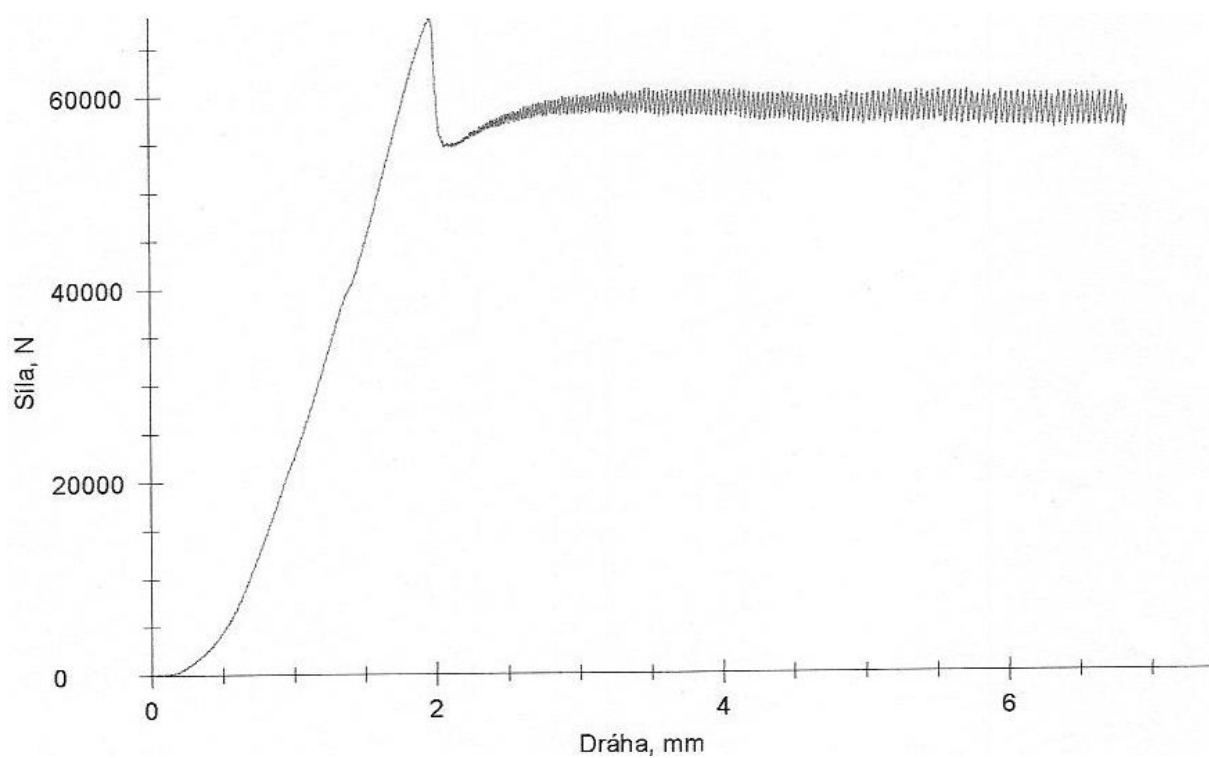


**Graf 4.13**

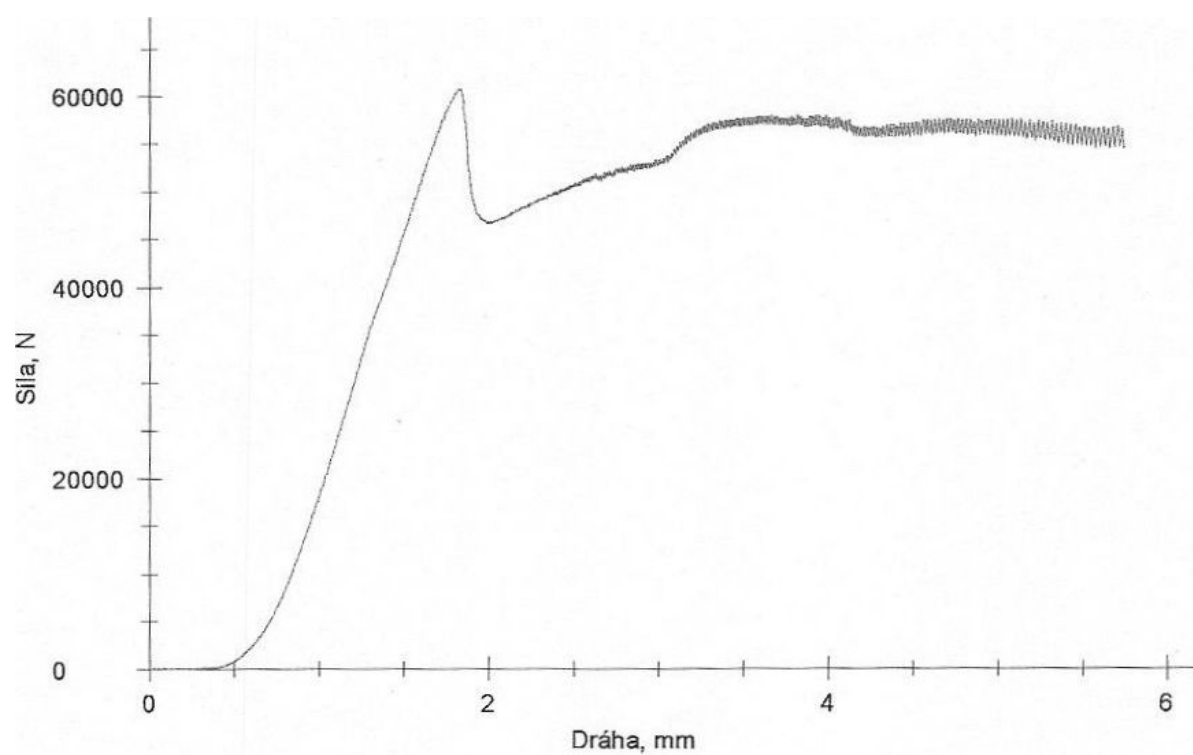


**Graf 4.14**

**Příloha č.1**

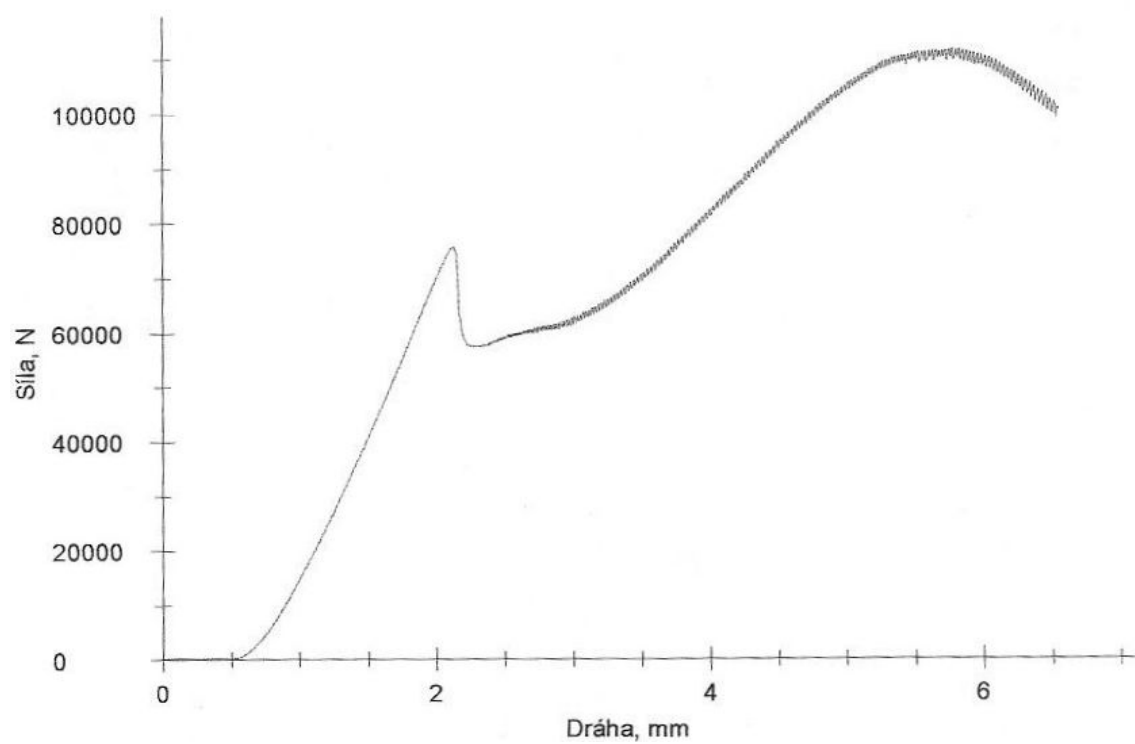


**Graf 4.15**

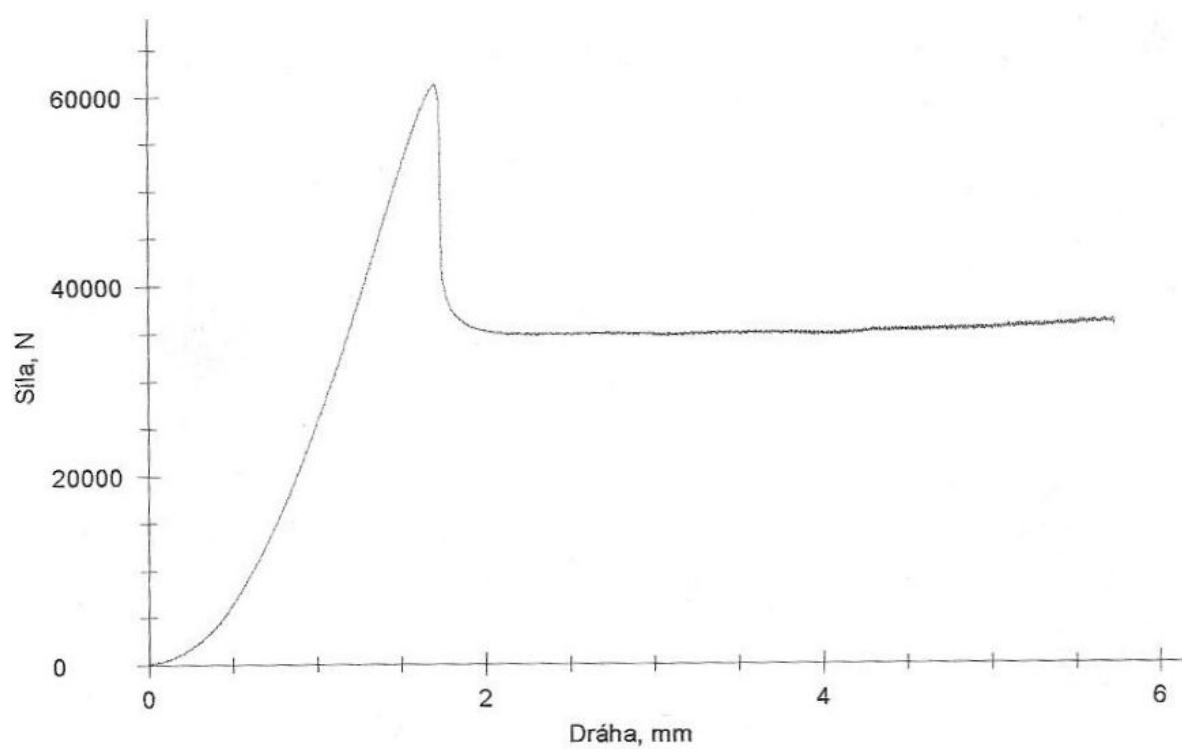


**Graf 4.16**

Příloha č.1

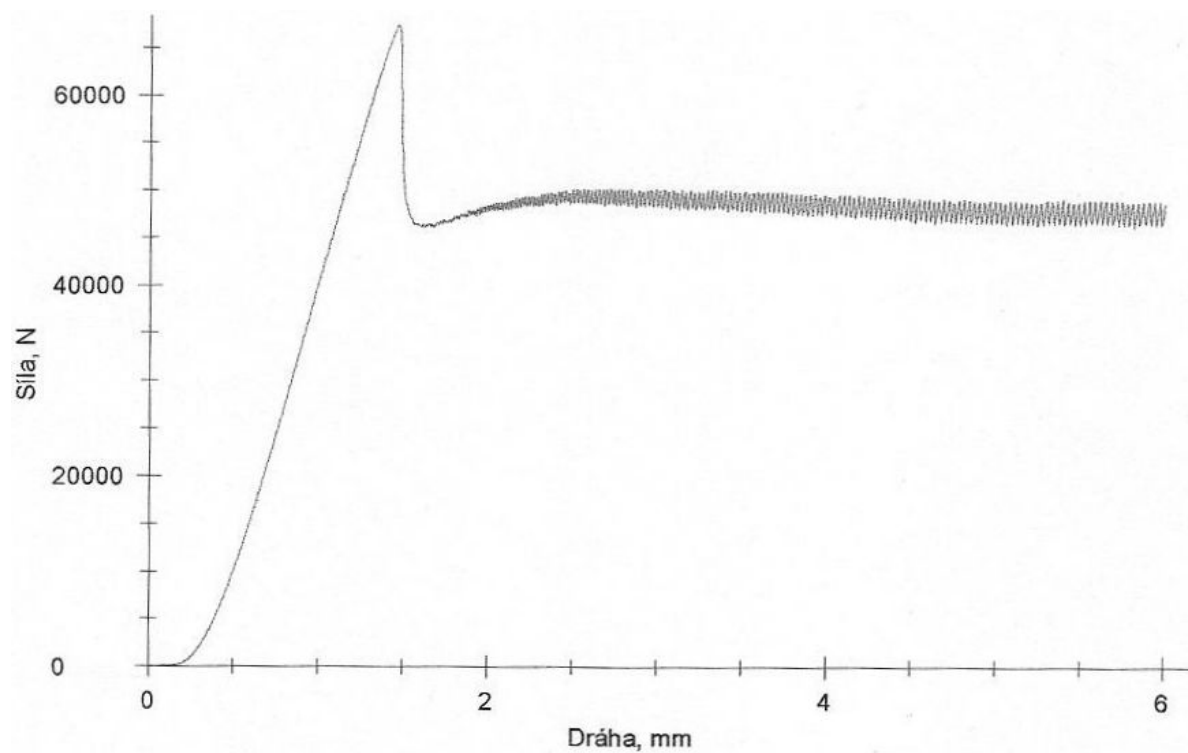


Graf 4.17

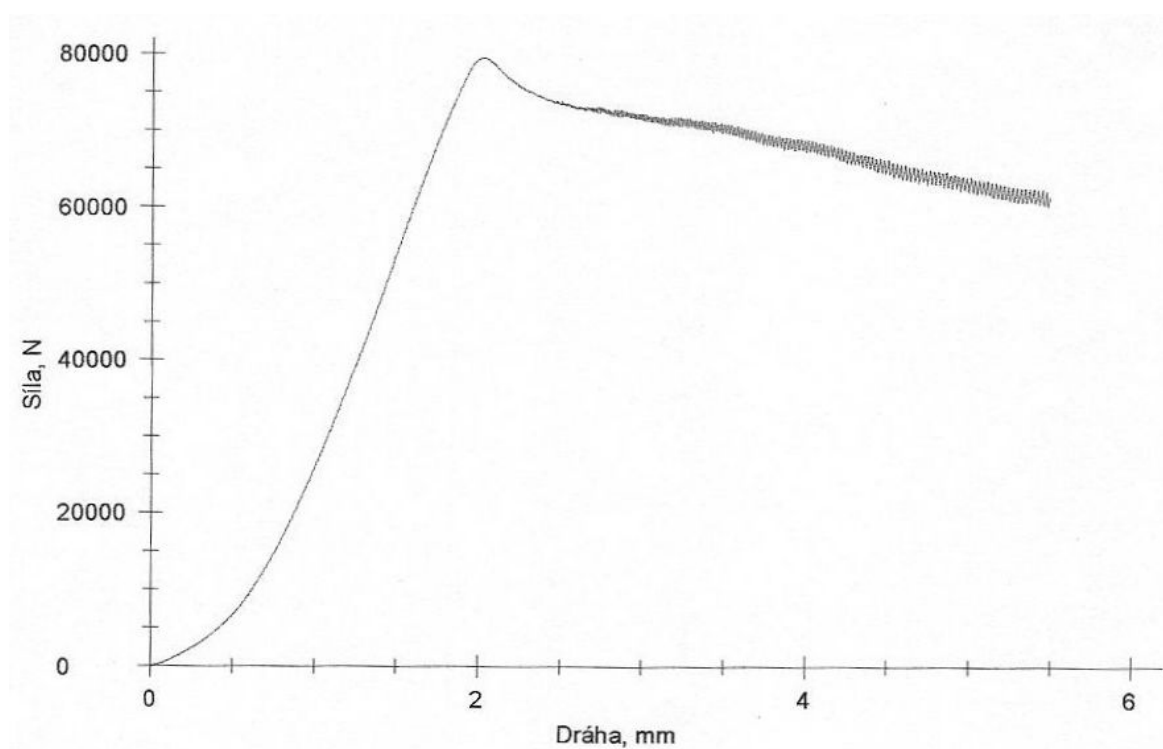


Graf 4.18

**Příloha č.1**

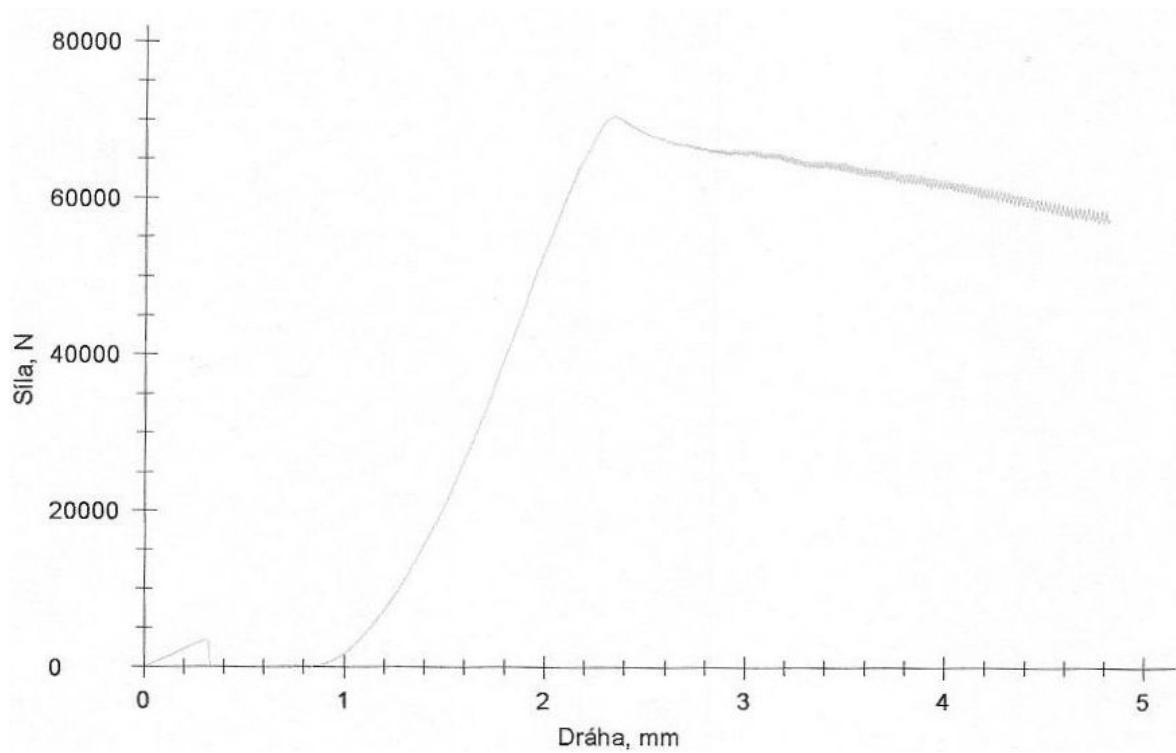


**Graf 4.19**

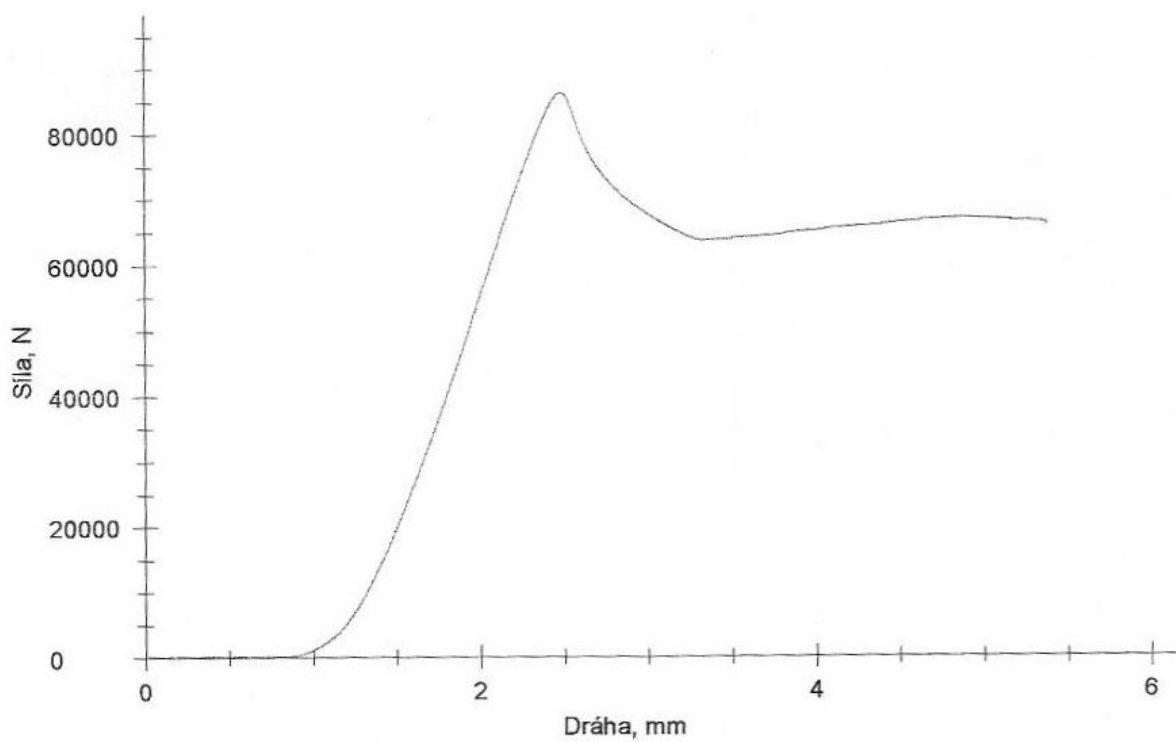


**Graf 4.20**

**Příloha č.1**



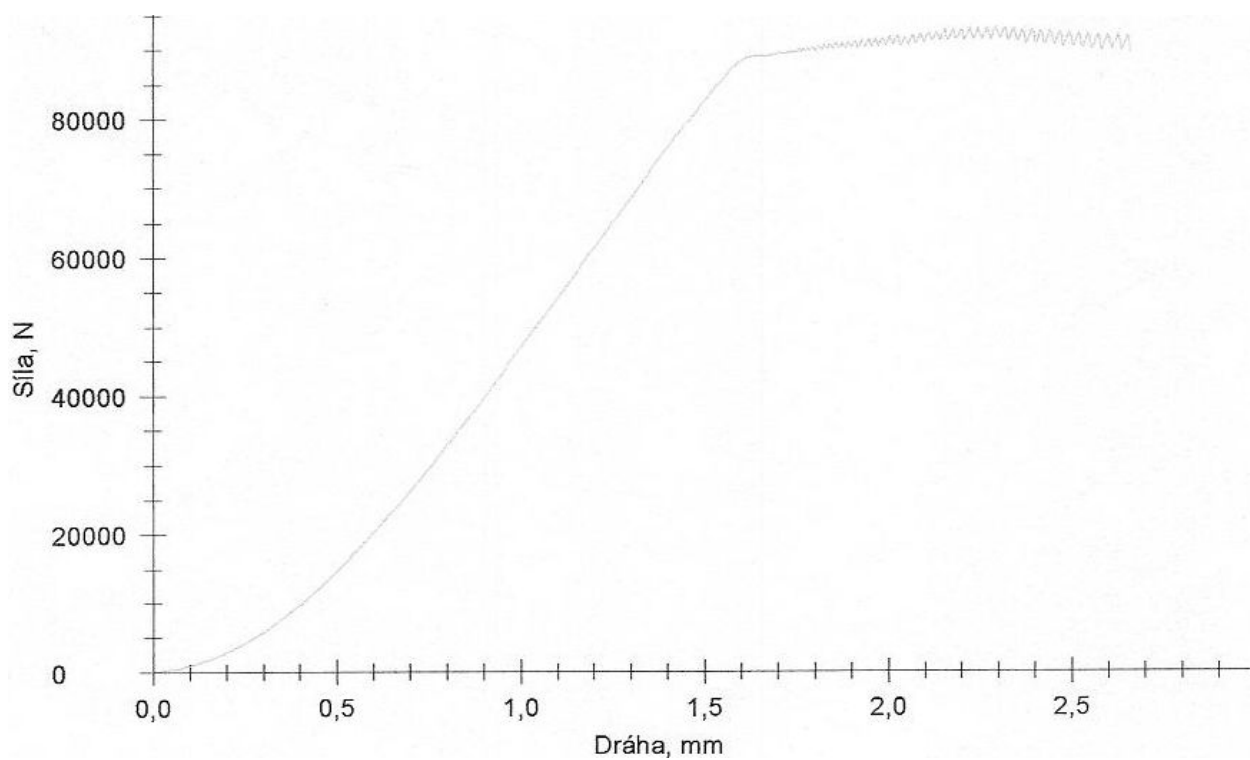
**Graf 4.21**



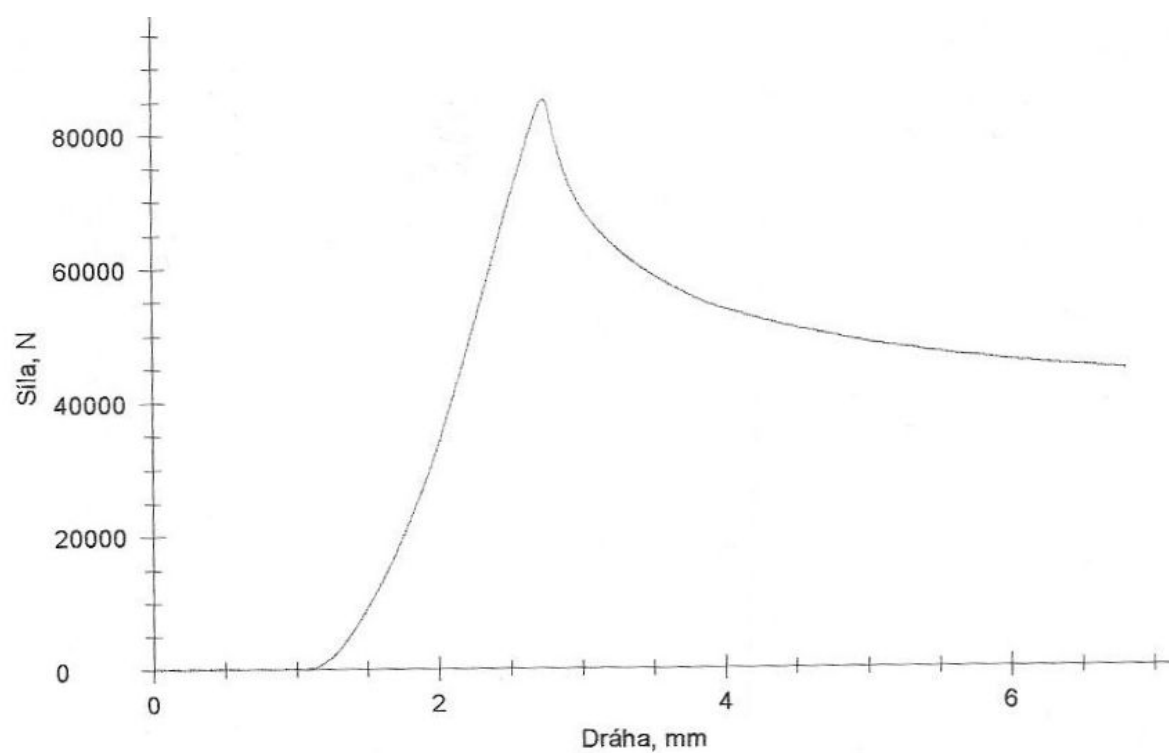
**Graf 4.22**



**Příloha č.1**

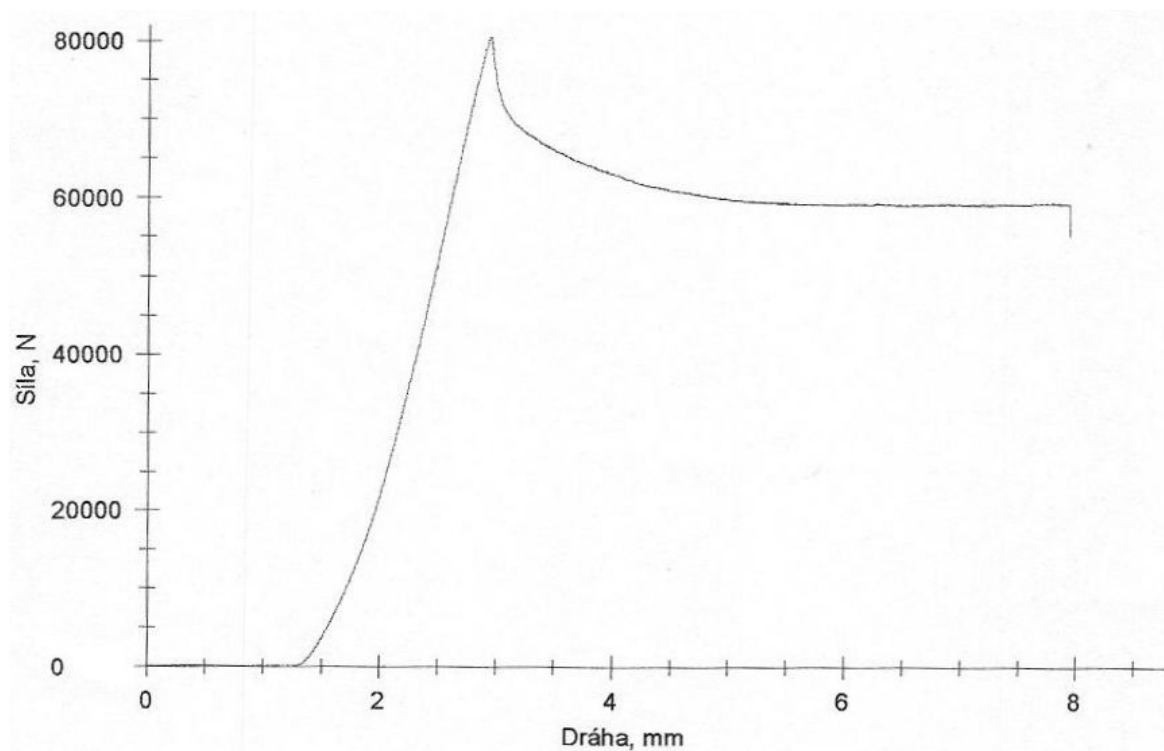


**Graf 4.23**

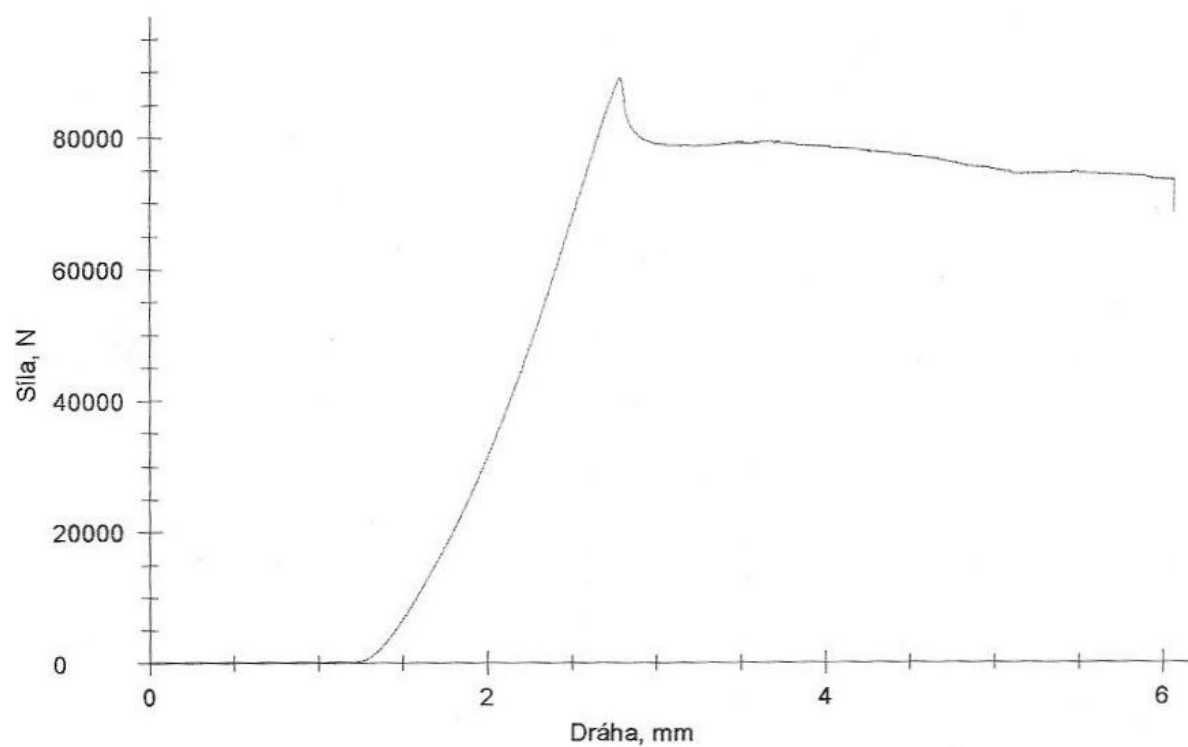


**Graf 4.24**

**Příloha č.1**

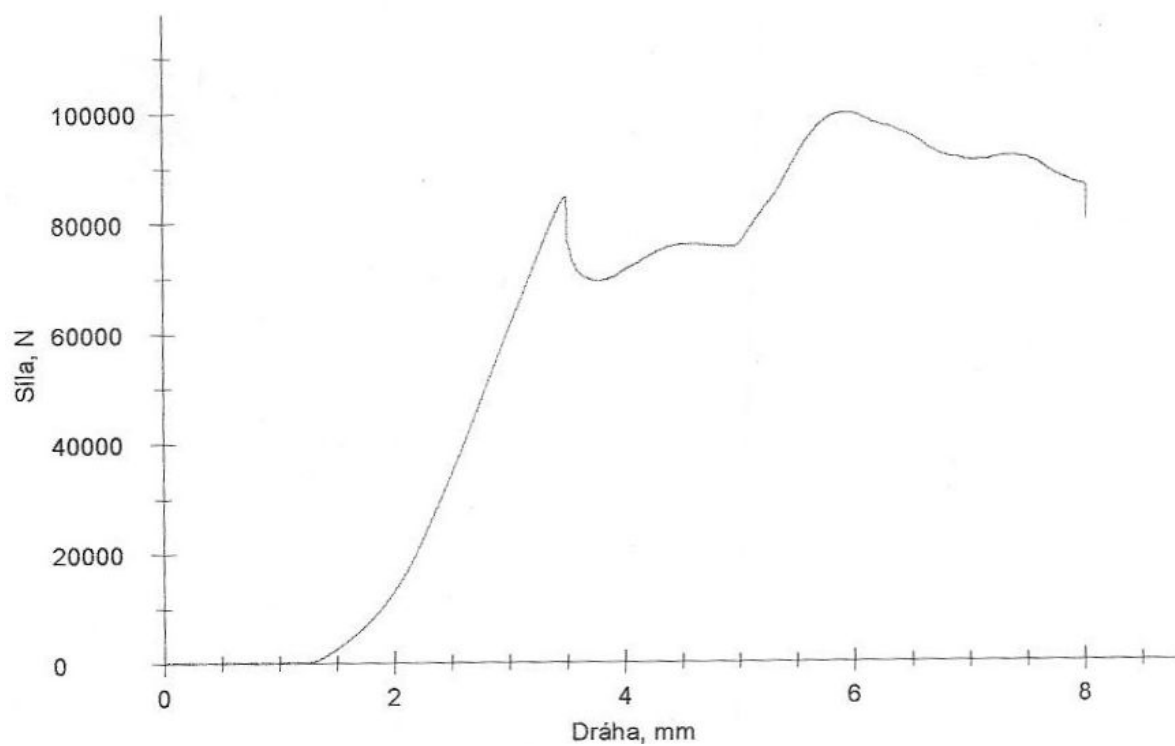


**Graf 4.25**

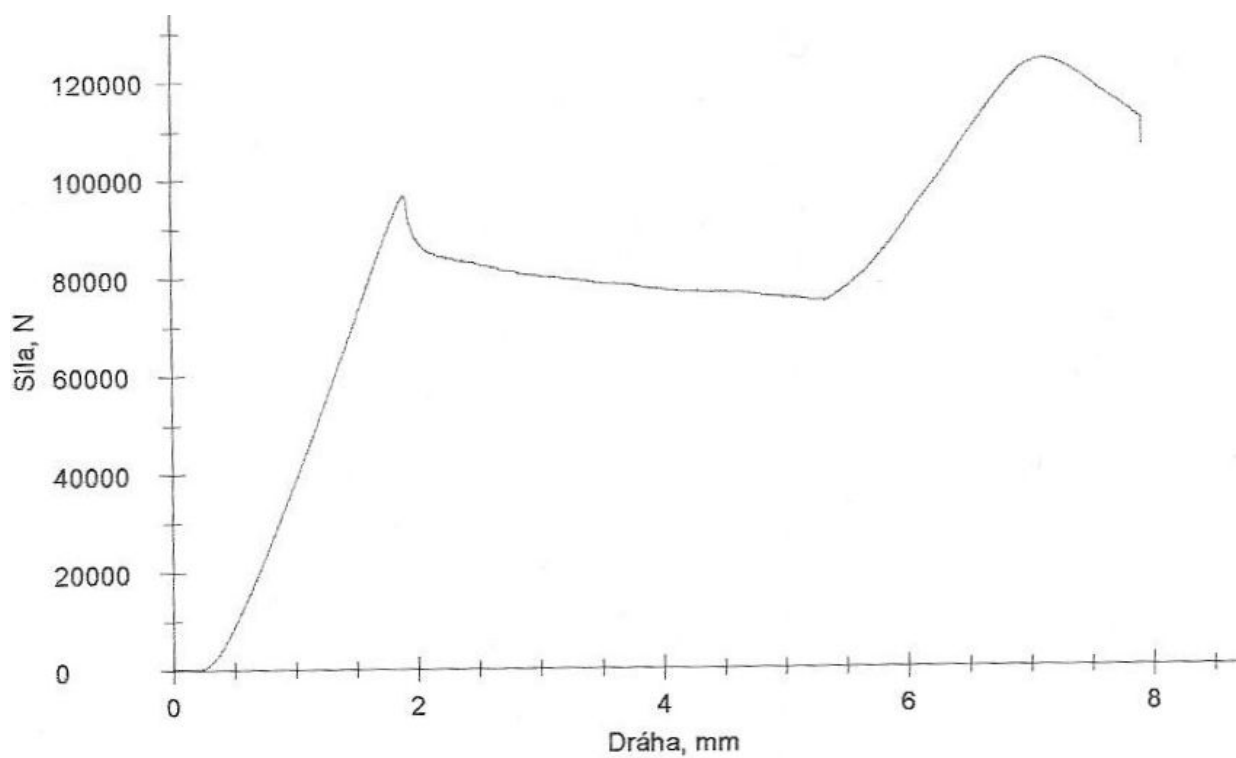


**Graf 4.26**

**Příloha č.1**

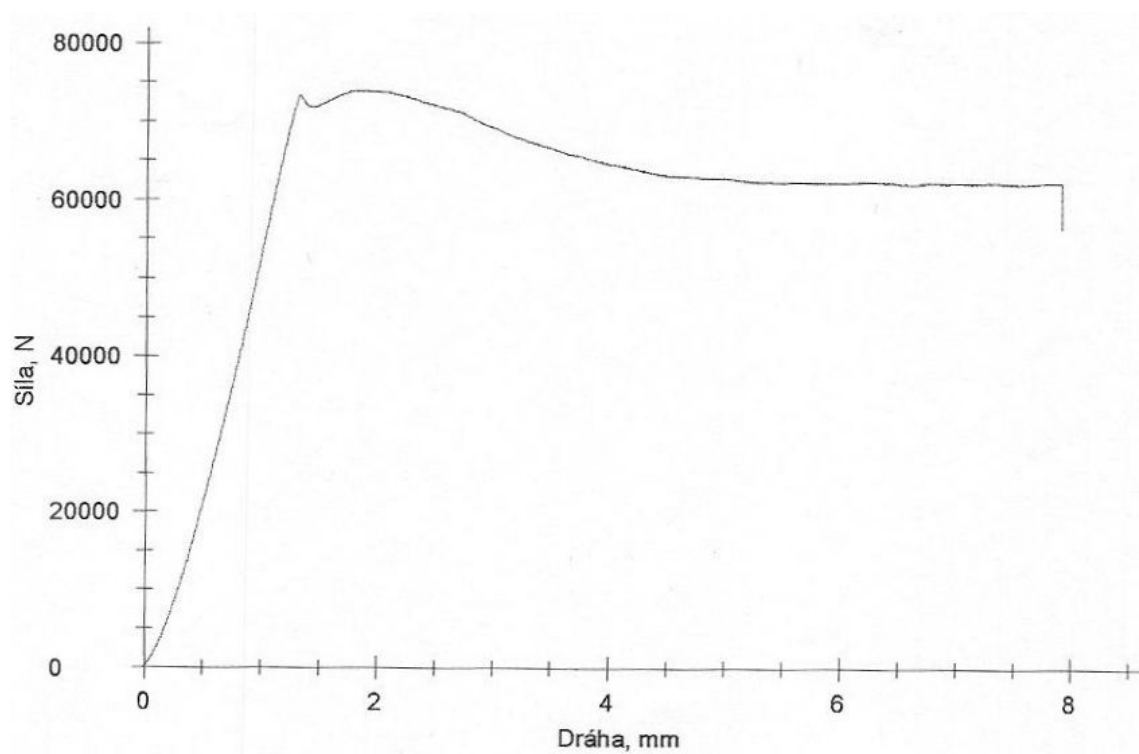


**Graf 4.27**

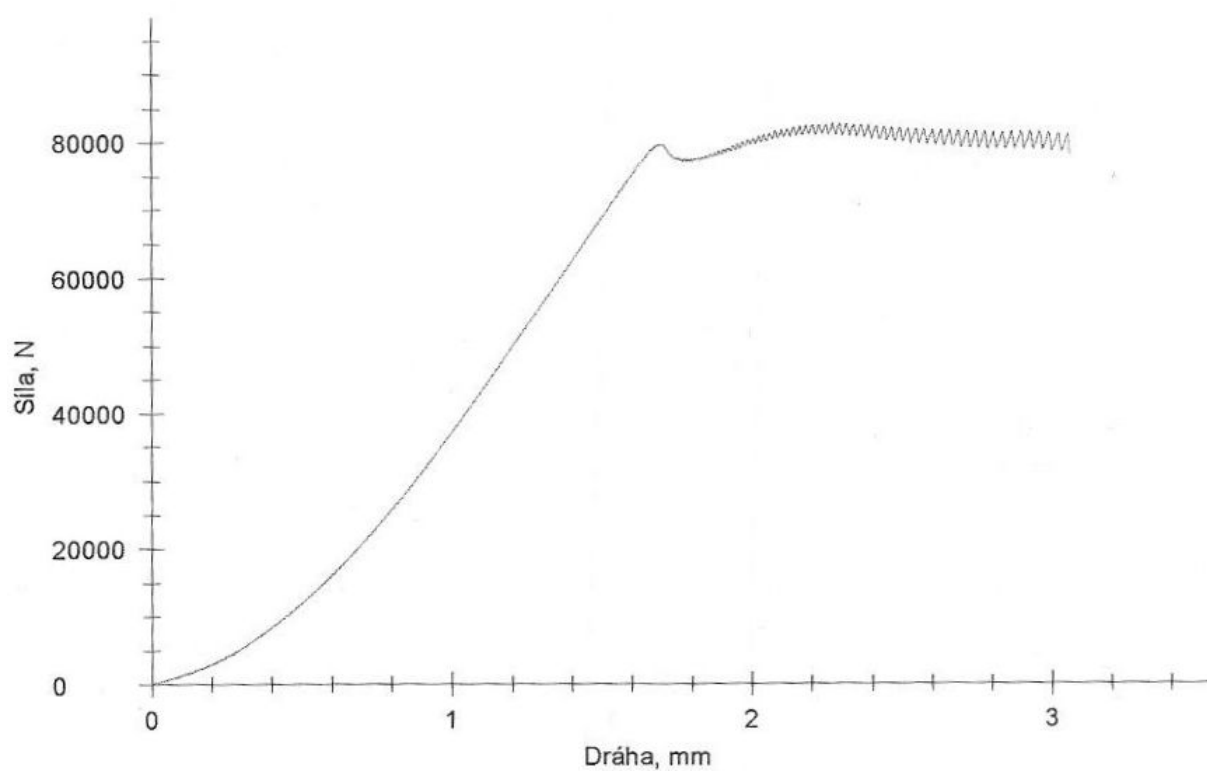


**Graf 4.28**

Příloha č.1

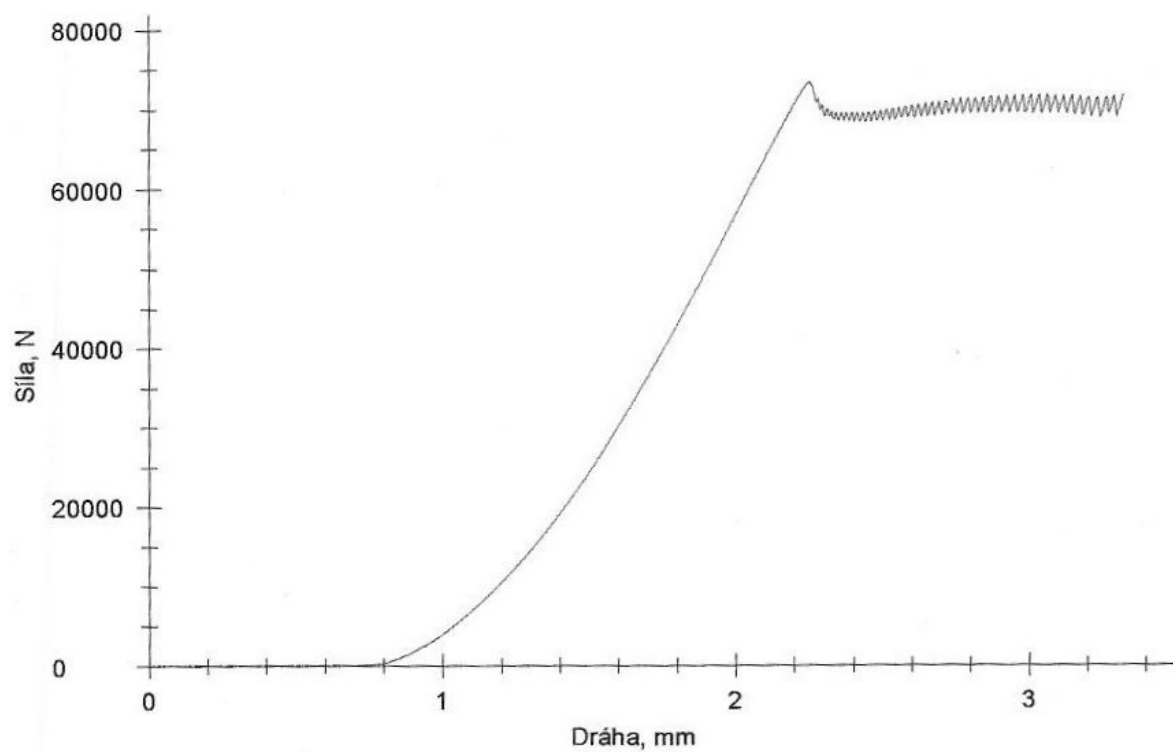


Graf 4.29



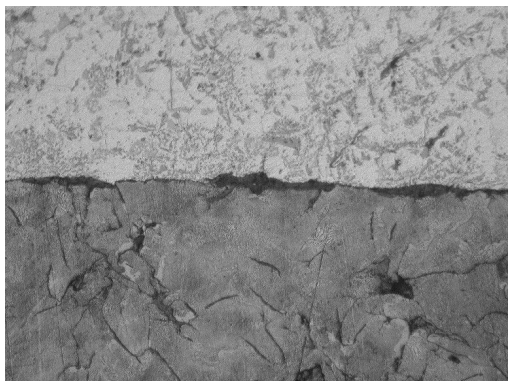
Graf 4.30

# Příloha č.1



Graf 4.31

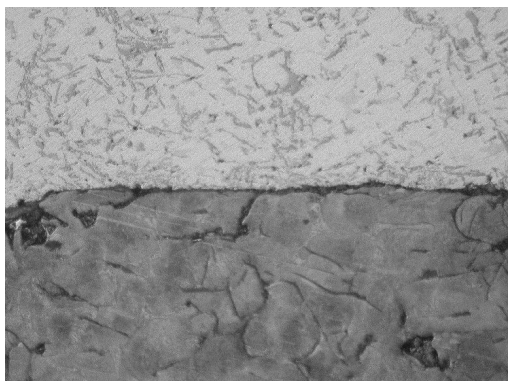
Zhoršená tisková kvalita grafů je způsobena skenováním již vytištěných grafů, které jsem získal při vlastním měření přímo z měřicího přístroje.



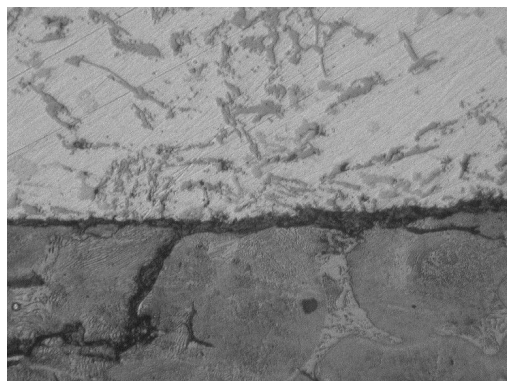
Obr. 4.8 Zvětšeno 200x; Cu - chem.



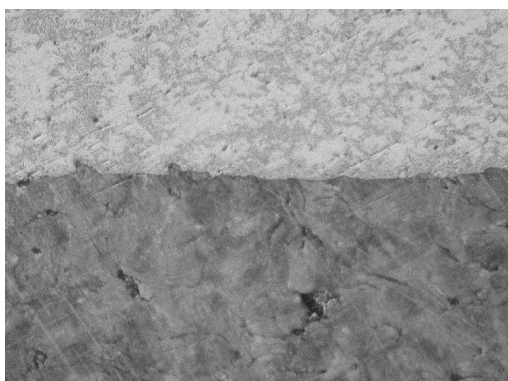
Obr. 4.9 Zvětšeno 500x; Cu - chem.



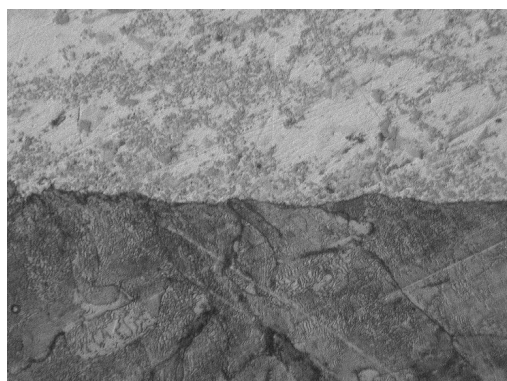
Obr. 4.10 Zvětšeno 200x; Cu - chem.



Obr. 4.11 Zvětšeno 500x; Cu - chem.



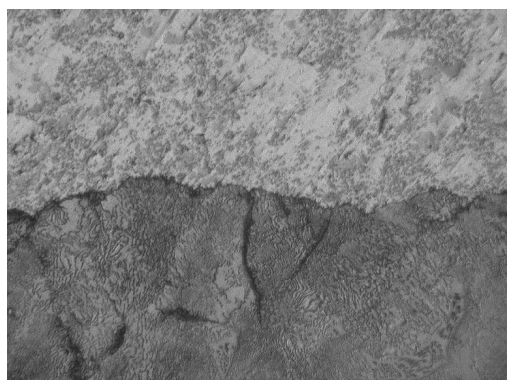
Obr. 4.12 Zvětšeno 200x; bez pokovení



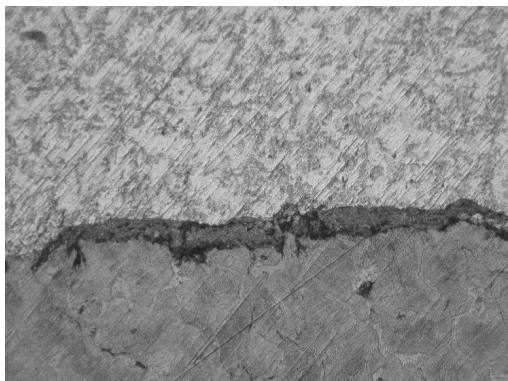
Obr. 4.13 Zvětšeno 500x; bez pokovení



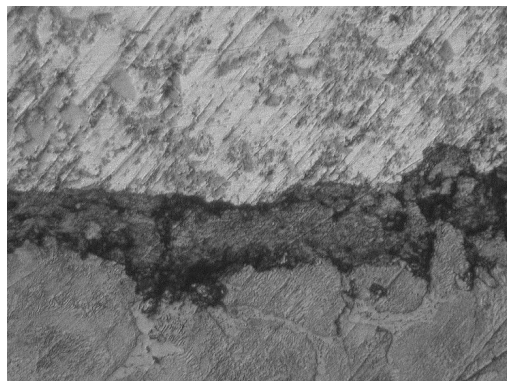
Obr. 4.14 Zvětšeno 200x; bez pokovení



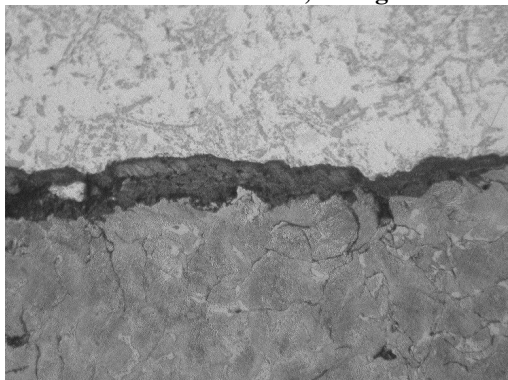
Obr. 4.15 Zvětšeno 500x; bez pokovení



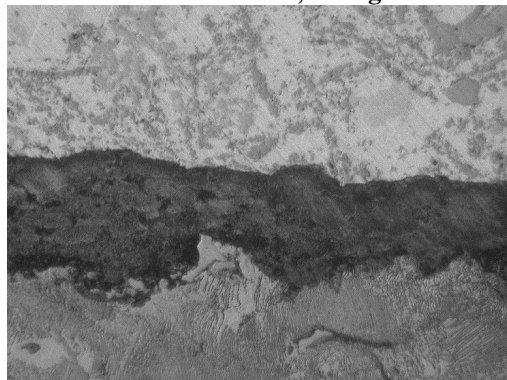
Obr. 4.16. Zvětšeno 200x; Cu - galv.



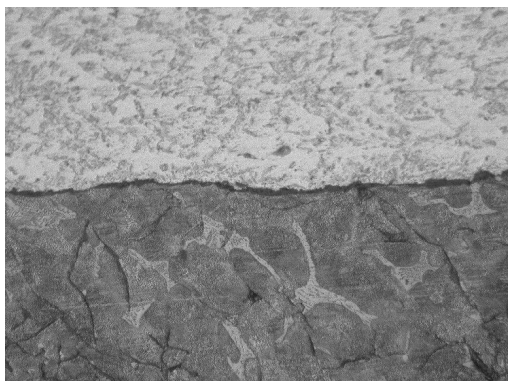
Obr. 4.17 Zvětšeno 500x; Cu - galv.



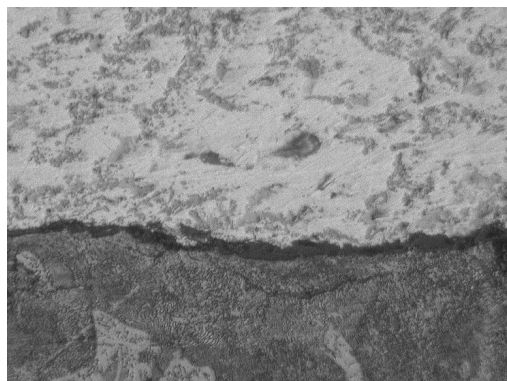
Obr. 4.18 Zvětšeno 200x; Cu - galv.



Obr. 4.19 Zvětšeno 500x; Cu - galv.



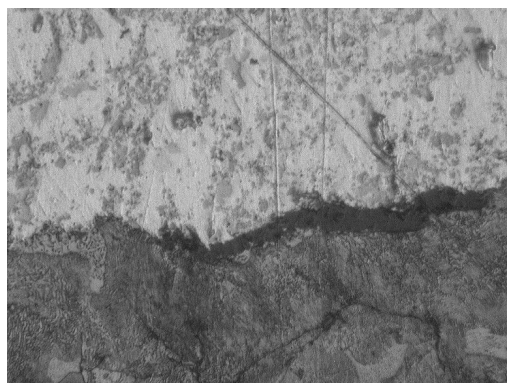
Obr. 4.20 Zvětšeno 200x; bez pokovení



Obr. 4.21 Zvětšeno 500x; bez pokovení



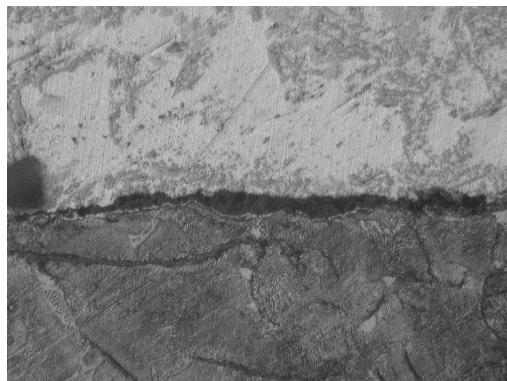
Obr. 4.22 Zvětšeno 200x; bez pokovení



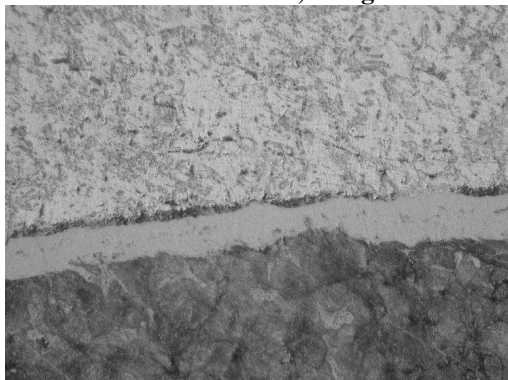
Obr. 4.23 Zvětšeno 500x; bez pokovení



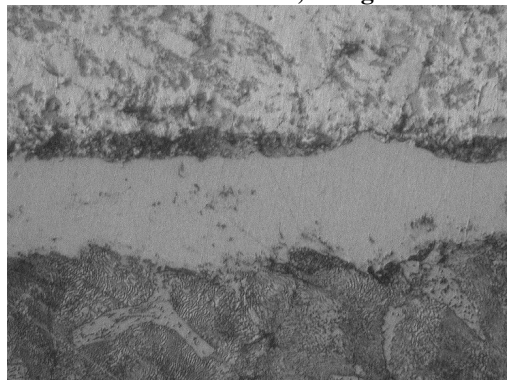
Obr. 4.24 Zvětšeno 200x; Ni - galv.



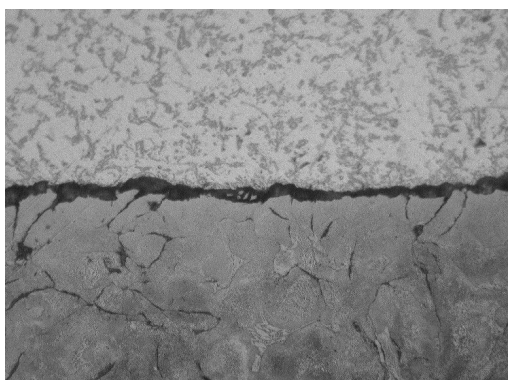
Obr. 4.25 Zvětšeno 500x; Ni - galv.



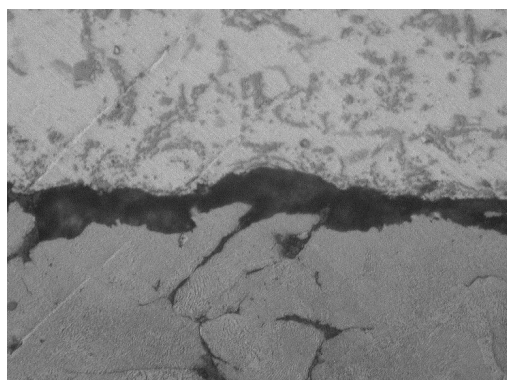
Obr. 4.26 Zvětšeno 200x; Cu-chem.+Ni-galv.



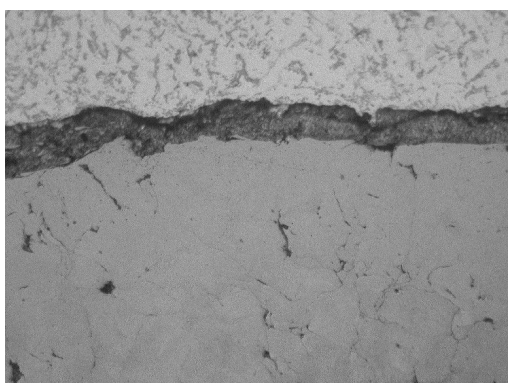
Obr. 4.27 Zvětšeno 500x; Cu-chem.+Ni-galv.



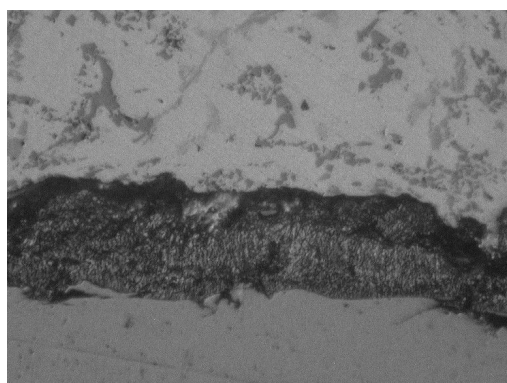
Obr. 4.28 Zvětšeno 200x; Zn - galv.



Obr. 4.29 Zvětšeno 500x; Zn - galv.



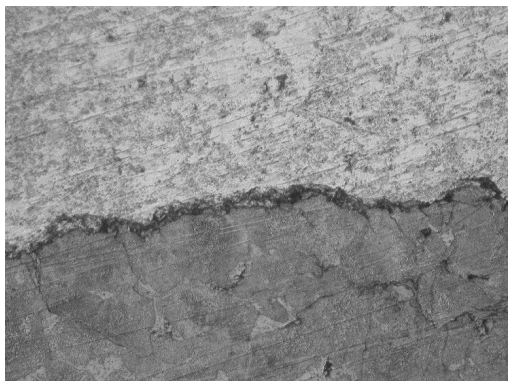
Obr. 4.30 Zvětšeno 200x; Zn - galv.



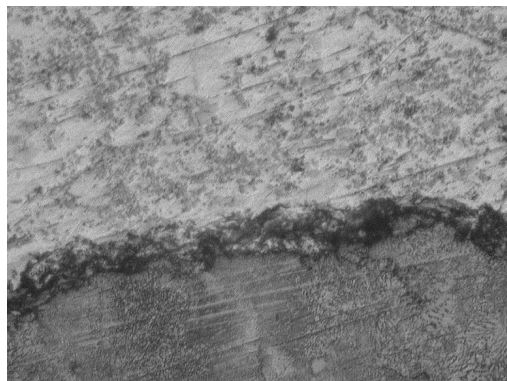
Obr. 4.31 Zvětšeno 500x; Zn - galv.



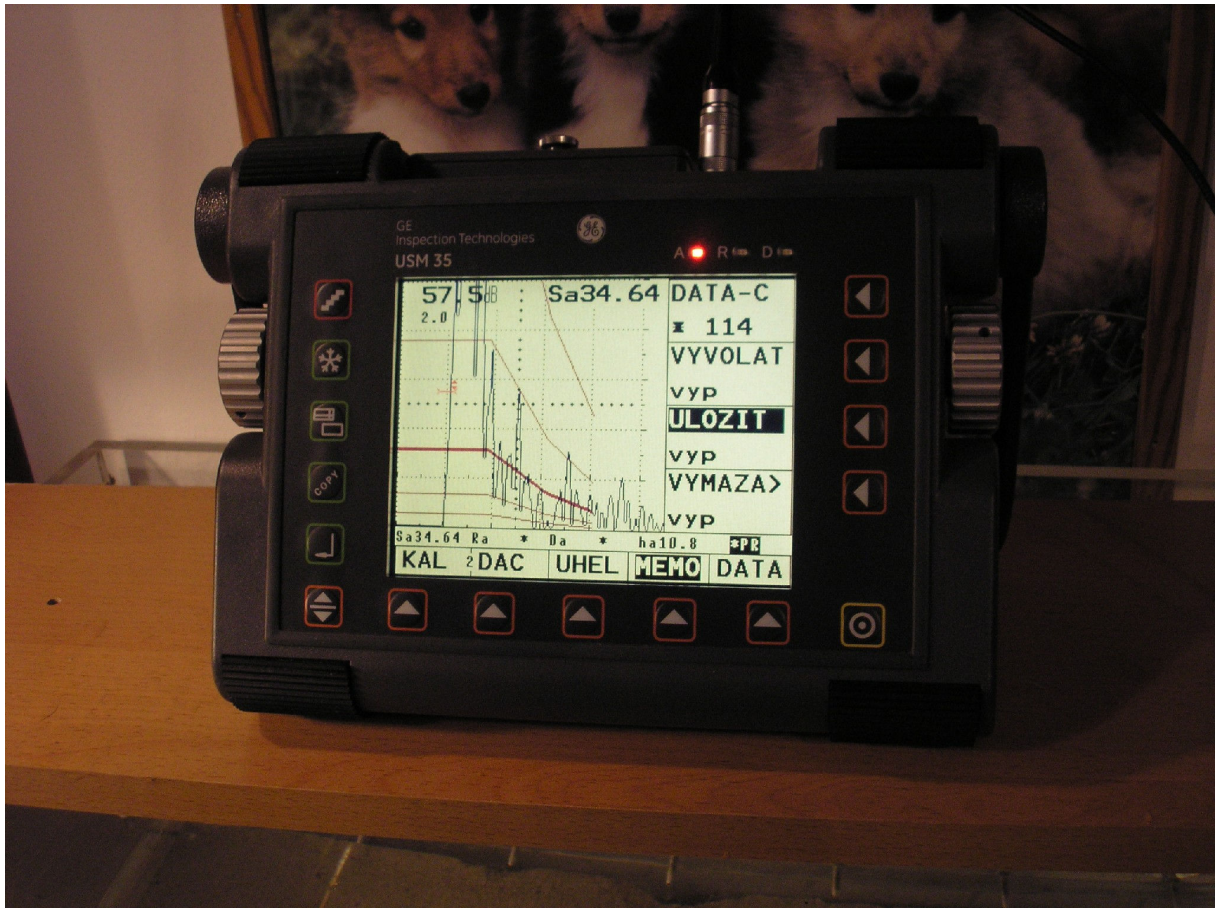
**Příloha č. 2**



**Obr. 4.32 Zvětšeno 200x; fosfát**



**Obr. 4.33 Zvětšeno 500x; fosfát**



## Krautkramer USM 35X S

- Velký barevný TFT displej
- AVG, DAC, TCG, JISDAC, REF, AWS
- Trigonometrické funkce, indikace půlkroků
- Dynamika echa, srovnání A - scanů, Auto Stop
- Vyhodnocení na zamrznutém A - zobrazení
- ZOOM A - scanu
- Paměť na 800 souborů
- Ochranná třída IP 66
- Baterie pro 14 hodin provozu
- Výroba a kalibrace dle ČSN EN 12668